



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

PROYECTO FIN DE CARRERA

*ANÁLISIS Y DESARROLLO DE METODOLOGÍA Y
ACCESORIOS PARA OBTENCIÓN DE
PROTOTIPOS MEDIANTE MOLDES DE SILICONA
Y DE RESINA FOTOPOLIMERIZABLE*

ESPECIALIDAD: MECÁNICA

Autor: Sergio Guerra Lacambra

Director: Francisco Javier Brosed Dueso

Codirector: Jorge Santolaria Mazo

Dpto. de Ingeniería de Diseño y Fabricación

Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza

Septiembre de 2013

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. INTRODUCCIÓN Y MARCO.....	5
1.2. ALCANCE.....	5
1.3. OBJETIVOS.....	6
1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	6
1.5. RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	8
2. ESTADO DEL ARTE.....	9
2.1. SILICONA RTV.....	9
2.2. TIPOS DE RESINAS PARA COLADAS.....	11
2.2.1. RESINA DE POLIESTER.....	11
2.2.2. RESINAS ACRÍLICAS.....	13
2.2.3. RESINA DE POLIURETANO.....	13
2.2.4. RESINA EPOXI.....	14
2.2.5. RESINA VINILESTER.....	15
2.3. MOLDES DE SILICONA.....	15
3. SELECCIÓN DE MATERIALES Y PROVEEDORES.....	17
4. PRUEBAS INICIALES Y EQUIPO NECESARIO.....	18
4.1. EQUIPO NECESARIO.....	18
4.2. PRUEBAS INICIALES.....	20
5. MOLDES DE SILICONA.....	23
5.1. PROCEDIMIENTOS PARA HACER MOLDES DE 1 Y 2 CARAS.....	23
5.2. FABRICACIÓN DE LOS MOLDES.....	24
6. COLADAS DE RESINA EN MOLDES DE SILICONA.....	28
6.1. DESARROLLO DE LAS COLADAS.....	28
6.2. RESULTADOS (TOLERANCIAS).....	30
6.2.1. RESINA ACRÍLICA.....	31
6.2.2. RESINA DE POLIESTER.....	34
6.2.3. RESINA EPOXI.....	37
6.3. COMPARACIÓN DE LAS RESINA EN MOLDES DE 1 CARA.....	39
6.4. VIDA ÚTIL.....	40
7. MOLDES DE RESINA.....	41
8. TEMPERATURA (PICO EXOTÉRMICO).....	44
8.1. MEDIDA DE LA TEMPERATURA CON MASA DE 1 PROBETA.....	44
8.2. RESINA ACRÍLICA (MASA / TEMPERATURA).....	46
8.3. RESINA DE POLIESTER (MASA / TEMPERATURA).....	47
8.4. RESINA EPOXI (MASA / TEMPERATURA).....	48
9. CÁMARA DE VACÍO.....	49
9.1. ELECCIÓN DEL MÉTODO.....	49
9.2. DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL RECIPIENTE.....	50
9.3. COMPRA Y MONTAJE DEL CIRCUITO NEUMÁTICO.....	56
9.4. FUNCIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE VACÍO.....	58
10. CONCLUSIONES Y DESARROLLO FUTURO.....	63
10.1. CONCLUSIONES.....	63
10.2. DESARROLLO FUTURO.....	64
11. PRESUPUESTO.....	65
12. BIBLIOGRAFÍA.....	66
13. ANEXOS.....	67
13.1. ANEXO 1. PROVEEDORES.....	67

INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 – MATERIALES.....	17
ILUSTRACIÓN 2 – PRUEBAS INICIALES.....	21
ILUSTRACIÓN 3 – FICHA DE LEGO Y 1ª REPRODUCCIONES.....	22
ILUSTRACIÓN 4 – PROBETA NORMALIZADA TIPO EN SOLIDEDGE.....	25
ILUSTRACIÓN 5 – PROBETA TIPO B FABRICADA EN IMPRESORA 3D.....	25
ILUSTRACIÓN 6 – MOLDEO DE LA PLASTILINA.....	26
ILUSTRACIÓN 7 – 2º CARA Y RESULTADO FINAL.....	26
ILUSTRACIÓN 8 – MOLDE DE DOS CARAS EN POSICIÓN VERTICAL.....	29
ILUSTRACIÓN 9 – PROJETAS DE RESINA.....	31
ILUSTRACIÓN 10 – COLADAS EN MITAD DEL MOLDE.....	33
ILUSTRACIÓN 11 – MOLDE CON ESCUADRAS COMO APRIETE.....	33
ILUSTRACIÓN 12 – MOLDES DE RESINA EN SOLIDEDGE.....	41
ILUSTRACIÓN 13 – MOLDES DE RESINA.....	42
ILUSTRACIÓN 14 – MOLDE DE RESINA CON AGUJEROS PARA EXPULSORES.....	42
ILUSTRACIÓN 15 – MOLDE DE RESINA UNIDO CON UN GATO.....	43
ILUSTRACIÓN 16 – MEDIDA DE LA TEMPERATURA EN LAS RESINAS.....	44
ILUSTRACIÓN 17 – EYECTOR DE VACÍO.....	49
ILUSTRACIÓN 18 – ESQUEMA EYECTOR DE VACÍO.....	49
ILUSTRACIÓN 19 – CILINDRO DE 1 MM DE ESPESOR EN SOLIDEDGE.....	50
ILUSTRACIÓN 20 – CILINDRO DE 1 MM. TENSIONES.....	50
ILUSTRACIÓN 21 – CILINDRO DE 1 MM. DESPLAZAMIENTOS.....	51
ILUSTRACIÓN 22 – REPRESENTACIÓN PERFIL BASE EN SOLIDEDGE.....	51
ILUSTRACIÓN 23 – BASE EN SOLIDEDGE.....	52
ILUSTRACIÓN 24 – BASE. DESPLAZAMIENTOS.....	52
ILUSTRACIÓN 25 – BASE. TENSIONES.....	52
ILUSTRACIÓN 26 – RECIPIENTE CUADRADO EN SOLIDEDGE.....	53
ILUSTRACIÓN 27 – RECIPIENTE CUADRADO. TENSIONES.....	53
ILUSTRACIÓN 28 – RECIPIENTE CUADRADO. DESPLAZAMIENTOS.....	54
ILUSTRACIÓN 29 – TAPA DE METACRILATO EN SOLIDEDGE.....	54
ILUSTRACIÓN 30 – TAPA DE METACRILATO. TENSIONES.....	55
ILUSTRACIÓN 31 – TAPA DE METACRILATO. DESPLAZAMIENTOS.....	55
ILUSTRACIÓN 32 – RECIPIENTE CÁMARA DE VACÍO.....	56
ILUSTRACIÓN 33 – CIERRE HERMÉTICO.....	56
ILUSTRACIÓN 34 – ESQUEMA CIRCUITO NEUMÁTICO.....	57
ILUSTRACIÓN 35 – REGULADOR DE CAUDAL.....	57
ILUSTRACIÓN 36 – UNIÓN PASA-TABQUES CON ARANDELA DE SILICONA.....	58
ILUSTRACIÓN 37 – CÁMARA DE VACÍO.....	58
ILUSTRACIÓN 38 – COMPARACIÓN PROBETA EPOXI DESGASIFICADA CON OTRA SIN DESGASIFICAR.....	60
ILUSTRACIÓN 39 – COMPARACIÓN PROBETA POLIÉSTER DESGASIFICADA CON OTRA SIN DESGASIFICAR.....	61
ILUSTRACIÓN 40 – DESGASIFICACIÓN DE LA SILICONA.....	61

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 – PLANNING DEL PROYECTO.....	6
TABLA 2 – RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	8
TABLA 3 – MEDIDAS FICHAS DE LEGO.....	22
TABLA 4 – MEDIDAS EN MM DE LAS PROBETAS PATRON.....	26
TABLA 5 – RESUMEN DE % Y TIEMPOS DE GEL Y CURADO.....	28
TABLA 6 – TOLERANCIAS. NORMA UNE EN - ISO 3127:2002.....	30
TABLA 7 – ESPESOR ACRÍLICAS.....	31
TABLA 8 – B2 ACRÍLICAS.....	32
TABLA 9 – B1 ACRÍLICAS.....	32
TABLA 10 – ESPESOR ACRÍLICAS (UNA PARTE DEL MOLDE DE DOS CARAS).....	33
TABLA 11 – MEDIDAS ACRÍLICAS CON ESCUADRAS COMO APRIETE.....	34
TABLA 12 – ESPESOR POLIÉSTER.....	34
TABLA 13 – B2 POLIÉSTER.....	35
TABLA 14 – B1 POLIÉSTER.....	35
TABLA 15 – ESPESOR POLIÉSTER (UNA PARTE DEL MOLDE DE DOS CARAS).....	36
TABLA 16 – COMPARACIÓN MOLDE ACRILICAS – POLIÉSTER.....	36
TABLA 17 – MEDIDAS POLIÉSTER CON ESCUADRAS COMO APRIETE.....	37
TABLA 18 – ESPESOR EPOXI.....	37
TABLA 19 – B2 EPOXI.....	38
TABLA 20 – B1 EPOXI.....	38
TABLA 21 – ESPESOR EPOXI (UNA PARTE DEL MOLDE DE DOS CARAS).....	39
TABLA 22 – MEDIDAS EPOXI CON ESCUADRAS COMO APRIETE.....	39
TABLA 23 – COMPARACIÓN RESINAS (MOLDE DE UNA CARA).....	40
TABLA 24 – COMPARACIÓN PICO EXOTÉRMICO (20GR).....	45
TABLA 25 – ACRÍLICAS (MASA-TEMPERATURA.....	46
TABLA 26 – POLIÉSTER (MASA-TEMPERATURA).....	47
TABLA 27 -. EPOXI (MASA-TEMPERATURA).....	48
TABLA 28 – CARACTERÍSTICAS DEL EYECTOR.....	59
TABLA 29 – RESUMEN DESGASIFICACIÓN DE RESINAS Y SILICONA.....	59

1 INTRODUCCION

1.1 INTRODUCCIÓN Y MARCO

Hoy en día, las siliconas se han convertido en uno de los materiales más usado en la realización de moldes. Su uso ha revolucionado la elaboración de moldes flexibles, debido a las propiedades derivadas de su estructura química que las convierten en un excelente material para la reproducción de piezas.

Una de las aplicaciones más útil, es que podemos conseguir prototipos de muy buena calidad. Estos permiten testar un objeto antes de que entre en producción, detectar errores, deficiencias, etcétera.

Por otro lado, la irrupción en el mercado de las impresoras 3D, abre nuevas posibilidades en la fabricación de piezas y prototipos. El prototipado rápido es la manera más rápida de obtener una reproducción exacta de un diseño generado mediante una aplicación CAD en 3D.

Este proyecto ha sido propuesto por el Dpto. de Ingeniería de Diseño y Fabricación con la intención de abrir una nueva línea de investigación. El propósito es recopilar la información, realizar los ensayos oportunos y analizar los resultados necesarios para fabricar piezas y prototipos en resinas, ya sea mediante moldes de silicona como de moldes fabricados mediante prototipado rápido.

El análisis debe servir como referencia a la hora de escoger el método y los materiales más adecuados para la reproducción de piezas y prototipos con resinas.

1.2 ALCANCE

En este proyecto queda definida la información relacionada con la silicona empleada en los distintos tipos de moldes y las resinas más utilizadas para la fabricación de piezas y prototipos por colada. Esto conlleva una exhaustiva selección de material para comenzar a diseñar y realizar diferentes tipos de ensayos.

Se establecen los procedimientos para la realización de los moldes de silicona, así como la comprobación de que estos moldes aceptan y reproducen las coladas de forma correcta.

También se ha llevado a cabo un análisis de la temperatura alcanzada por las resinas en el proceso de solidificación (pico exotérmico) y el diseño y fabricación de una cámara de vacío para desgasificar dichas resinas.

Por otro lado quedan reflejadas las pruebas con moldes elaborados con la impresora 3D en resina y un estudio de su posible viabilidad.

1.3 OBJETIVOS

Los objetivos de este proyecto son:

- Recopilar información acerca de las siliconas para moldes y de las resinas más utilizadas para coladas.
- Elaborar los procedimientos para realizar los distintos tipos de moldes y piezas.
- Comprobar si se cumplen las tolerancias exigidas en la Norma UNE EN-ISO 3127:2002. Plásticos. Probetas para usos múltiples. en las piezas moldeadas.
- Comprobar la vida útil de los moldes dependiendo del tipo de resina.
- Análisis del pico exotérmico de las diferentes resinas.
- Estudiar la viabilidad de utilizar máquinas de prototipado rápido para fabricar moldes de resina.
- Diseño y fabricación de una cámara de vacío para conseguir la desgasificación de las resinas.

1.4 DESCRIPCION DEL PROYECTO

En este apartado se van a explicar los principales apartados de los que consta este proyecto. La tabla refleja el desarrollo temporal del proyecto.

PLANNING	<i>abril</i>	<i>mayo</i>	<i>junio</i>	<i>julio</i>	<i>Agosto</i>
<i>Búsqueda de información</i>	x			x	
<i>Compra de materiales</i>	x	x		x	
<i>Pruebas iniciales</i>			x		
<i>Elaboración de moldes y coladas</i>			x	x	
<i>Medidas de temperatura</i>				x	x
<i>Medidas de las probetas y mejora del método</i>				x	x
<i>Pruebas con moldes de resina</i>					x
<i>Cámara de vacío</i>				x	x
<i>Conclusiones y redactar el proyecto</i>					x

Tabla 1. Planning del proyecto

Búsqueda de información. Debido al desconocimiento en esta materia, fue necesaria una exhaustiva búsqueda de información antes de empezar a realizarlo y así poder diseñar los ensayos a realizar.

- Clasificación de las resinas líquidas más comunes para coladas
- Tipos de silicona para moldes
- Métodos para hacer moldes de silicona
- Pico exotérmico de las resinas
- Cámara de vacío

Compra de materiales. Dos etapas. Por un lado la compra de la silicona, utensilios para hacer los moldes y los tipos de resinas para hacer las coladas. La segunda etapa para comprar el circuito neumático y la tapa de metacrilato para la fabricación de la cámara de vacío.

Pruebas iniciales. Primeros moldes y coladas con el fin de familiarizarnos con los métodos a realizar.

Elaboración de moldes y coladas. Fabricación de los moldes para ensayar probetas y elaboración continua de probetas.

Medidas de temperatura. Estudio del funcionamiento del ALMEMO 2590 y medida de la temperatura que alcanzan las resinas en el proceso de catalización. Dos partes. Masa de una probeta y relación Masa / Temperatura.

Medida de las probetas y mejora del método. Comprobación de que las probetas cumplen las tolerancias de la Norma UNE EN-ISO 3127:2002. Análisis y cambio de métodos para mejorar resultados.

Pruebas con moldes de resina. Iniciación en la reproducción de piezas en moldes de resina. Análisis de primeros problemas y planteamiento de las futuras soluciones.

Conclusiones y redacción del proyecto. Valoración final de los objetivos cumplidos y redactar todos los pasos que hemos llevado a cabo.

1.5 RESUMEN DEL PRESUPUESTO

SECCION	PRESUPUESTO (IVA incluido)	% DEL TOTAL
SILICONAS Y RESINAS	242,29	56,33
CAMARA DE VACIO	187,86	43,67
TOTAL	430,15	100,00

Tabla 2. Resumen del presupuesto

En este presupuesto aparecen reflejados todos los materiales que se necesitan para la elaboración de este proyecto. También está incluido el sueldo del operario que colaboro en la fabricación de la cámara de vacío.

El presupuesto total de este proyecto es la suma de la compra de la silicona y tipos de resinas utilizados más todo lo relacionado con la elaboración de la cámara de vacío. La cifra asciende a CUATROCIENTOS TREINTA CON QUINCE EUROS (IVA incluido).

2 ESTADO DEL ARTE

En este apartado están documentados los temas a tratar posteriormente, ya que es importante tener una idea generalizada de los conceptos con los que vamos a trabajar.

2.1 Silicona RTV (Room Temperature Vulcanization)

La silicona para moldes también conocida como Silicona RTV es una pasta fluida que endurece mediante la acción de un catalizador y endurece a temperatura ambiente. De éste modo se obtiene una gama de siliconas con durezas comprendidas entre 15 Shore A a 40.

Características Silicona RTV

- Elevada fluidez y facilidad en el manejo
- Baja contracción
- Alta resistencia al desgarre
- Dureza media
- Resistencia a temperaturas altas y ácidos
- Resistencia a la intemperie
- Repelente al agua

Aplicaciones Silicona RTV

- SELLADOR

La silicona RTV es un sellador de construcción muy común, especialmente en cocinas y baños. La mayor parte del calafateo está hecho de silicona RTV o contiene silicona RTV. Se presta especialmente bien como un sellador porque es repelente al agua, a los adhesivos y es maniobrable.

- ADHESIVO Y JUNTAS

El RTV de silicona no es un adhesivo extremadamente fuerte. Sin embargo, tiene una combinación única de propiedades adhesivas suaves y propiedades de caucho. La combinación puede crear una junta adhesiva del tipo que se puede usar en muchas aplicaciones para pegar dos superficies y proporcionar una pequeña cantidad de cojín, como dos piezas de encimera de mármol. El RTV también se utiliza específicamente para juntas. En altas temperaturas se utilizan algunos selladores RTV para su uso en los motores, como una junta o sellador.

- ARTESANIA

Una variedad de proyectos de artesanía utilizan pegamento para papel, pegamento para madera, pasta y otros adhesivos. La silicona RTV es otro adhesivo de poca potencia muy adecuado para la artesanía. No tiene olores fuertes ni dañinos. Tiene muchas propiedades adhesivas que otras no tienen. Por ejemplo, la mayoría de los adhesivos de artesanía son a base de agua y reducen el tamaño a medida que se seca. También puede ser opaco cuando está húmedo y translucido cuando seco. El RTV de silicona mantiene su forma y translucidez mientras se seca.

- MOLDES

Las propiedades del RTV de silicona son únicas y adecuadas para fabricar moldes. Su transformación de un gel semi líquido a una goma, permite que se vierta alrededor de los objetos para hacer moldes. Cuando los elementos de los moldes de RTV se quitan, como en el caso de las figuras de yeso, las propiedades del caucho son muy útiles. Pueden estirarse y retorcerse, lo que facilita la extracción y a continuación vuelven a su forma sin deformaciones.

Tipos de silicona RTV para moldes

La silicona líquida es una forma fácil y rápida de fabricar moldes para copiar piezas de todo tipo. En función de las necesidades mecánicas del molde, se recomienda utilizar una silicona u otra.

- ESTANDAR

Silicona para moldes estándar para aplicaciones por colada de resinas. Gracias a su baja viscosidad se garantiza un grado elevado de detalle y una durabilidad media. Moldes flexibles y antiadherentes.

- TIXOTRÓPICA

Silicona para moldes grandes en los que la silicona se aplica como una capa superficial. Al tener una viscosidad elevada, permite que no gotee ni resbale por las paredes verticales del modelo y facilita la creación de una capa gruesa en una sola aplicación. Existe un aditivo para aumentar la viscosidad en caso de que sea necesario. Ésta silicona tiene unas propiedades mecánicas superiores en lo que se refiere a resistencia a la tracción y al desgarro.

- SILICONA PARA METALES

Silicona roja para moldes para metales de bajo punto de fusión. Tiene unas altísimas propiedades en relación a la resistencia a las altas temperaturas. Esta

propiedad consigue que sea una silicona ideal para moldes en los que deban colar metales de la categoría de bajo punto de fusión (máx. 350°C) como por ejemplo plomo, peltre, estaño,...

- **SILICONA PARA ALIMENTOS**

Silicona alimentaria de adicción depara todo tipo de reproducciones. Especialmente formulada con materias primas que permiten que esta silicona se pueda utilizar para la elaboración de moldes en los que se deba colar alimentos (chocolate, gelatinas, flanes,...). Puede ir al congelador y aguanta temperatura en el horno de hasta 200°C.

2.2 Tipos de resinas para coladas

2.2.1 Resinas de poliéster

La resina de poliéster, en su origen, es similar a un trozo de vidrio. Por ello, se le añade para un mejor manejo una proporción de “Estireno”, un disolvente que la convierte en líquido.

Al añadirle catalizador, la combinación crea una serie de radicales libres que provocan que los elementos químicos de la resina se enlacen, formando una red cada vez mas tupida que, en una primera fase, hace que se gelifique, y finalmente, se endurezca.

Esta resina puede adquirirse preacelerada o sin acelerar. La preacelerada necesita para lograr la polimerización una adición de catalizador MEKP (peróxido de metiletilcetona) en torno a un 2%. En cambio la resina sin acelerar necesita la adición de catalizador MEKP y un % menor de octoato de cobalto como acelerante aproximadamente un 0.02%.

Es muy importante saber que a la hora de realizar la mezcla de poliéster sin acelerar no se puede mezclar directamente el acelerante con el catalizador porque se produce una reacción altamente explosiva.

Además, a estas resinas se le pueden añadir distintos aditivos para conseguir las propiedades adecuadas, como por ejemplo: tixotrópicos (aumentan la viscosidad), absorbedores (proteger rayos de sol), desaireantes, pigmentos,...

Resina de poliéster isoftálica

Las resinas isoftálicas, son resinas de alta reactividad, son resistentes a compuestos químicos y al calor (moderado). Sus características principales son:

- Buena resistencia química
- Baja absorción de agua
- Alta temperatura de distorsión

Estas propiedades las hacen especiales para la fabricación de moldes y herramientas, ya que al tener una alta temperatura de distorsión, se verán inalteradas al curar la pieza en ella. Además es la resina ideal para fabricar gelcoats (recubrimiento para mejorar el acabado final de la pieza y protegerla de agentes exteriores)

Resina de poliéster ortoftálica

Las resinas ortoftálicas, son resinas de uso general y las más simples en su formulación, por lo tanto las más económicas de todas.

Estas resinas tienen diversas propiedades como:

- Baja viscosidad y alto porcentaje de no volátiles
- Excelentes resistencias mecánicas
- Alta resistencia hidrolítica
- Buena impregnación de la fibra de vidrio
- Buena aceptación de todo tipo de cargas
- Rápido desmolde
- Translúcida
- Adecuado tiempo de gel

Se utilizan en la fabricación de embarcaciones, transportes, bañeras, piezas en general, gelcoats,...

Comparativa resinas de poliéster ortoftálicas con las isoftálicas

Comparativamente, es posible decir que las resinas ortoftálicas:

- Son más rígidas que las isoftálicas,
- Tienen tiempo de gel más largo que las isoftálicas
- Tienen menor resistencia a solventes y mayor absorción de agua que las isoftálicas.
- Son más baratas que las isoftálicas lógicamente, ya que sus propiedades son más limitadas.
- Tienen menor resistencia al impacto que las isoftálicas.
- Tienen menor retención de propiedades mecánicas a altas temperaturas
- Son menos viscosas que las isoftálicas (menor peso molecular)

2.2.2 Resinas acrílicas

La resina acrílica, es una resina ecológica bicomponente, que cura a temperatura ambiente con la ayuda de un catalizador. Este catalizador, en ocasiones es agua pura y en otras es un catalizador en base agua.

Propiedades resina acrílicas

- No toxico, casi inoloro.
- Facilidad en el manejo
- Exoterma mínima
- Resistencia a la humedad y al fuego
- Estabilidad dimensional
- Resistencia mecánica
- Durabilidad alta
- Excelente relación calidad / precio

En definitiva, se trata de soluciones acuosas que han de ser mezcladas en sus porcentajes correspondientes para obtener un compuesto sólido. Las resinas acrílicas están especialmente desarrolladas para el moldeo de todo tipo de piezas artísticas (alto y bajo relieve, modelos, esculturas,...). Los moldes ideales son de silicona, ya que este tipo de resinas son de muy baja reactividad y apenas los desgastan. Las resinas acrílicas también pueden ser utilizadas en laminados con fibra de vidrio.

Para este tipo de resinas existen dos tipos de aditivos:

- Tixotrópicos. Aumentan la viscosidad de la mezcla para evitar el descuelgue en aplicaciones verticales.
- Retardante. Retrasa el tiempo de curado de la mezcla.

2.2.3 Resinas de poliuretano

El poliuretano (PUR) es un polímero que se obtiene mediante condensación de bases hidroxílicas combinadas con disocianatos. Los poliuretanos se clasifican en dos grupos, definidos por su estructura química y diferenciados por su comportamiento frente a la temperatura. De esta manera pueden ser de dos tipos: Poliuretanos termoestables o poliuretanos termoplásticos.

La resina para coladas de poliuretano es termoestable rígida. Esta resina consta de dos componentes, al mezclarlos a partes iguales se produce una rápida reacción exotérmica que permite separar la pieza reproducida del molde a los pocos minutos de la colada. La resina de poliuretano se caracteriza por:

- Gran resistencia a la tracción, a la abrasión y al envejecimiento.
- Gran dureza.
- Gran detalle en la reproducción al tener baja viscosidad.

Todo ello la hace excelente para la fabricación de piezas pequeñas, maquetas, modelismo y prototipos. También se le puede añadir aditivos.

2.2.4 Resinas epoxi

Una Resina Epóxi o poliepóxido es un polímero termoestable (la resina) que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor. Las resinas epóxi más frecuentes son producto de una reacción entre bisfenol-a y la epiclorohidrina. Las resinas epoxi están constituidas comúnmente de dos componentes que se mezclan previamente antes de ser usados; al mezclarse reaccionan causando la solidificación de la resina, su curado se realiza a temperatura ambiente, durante ese curado o secado se forman enlaces cruzados lo que hace que su peso molecular sea elevado.

Propiedades de la resina epoxi:

- Buen aislamiento eléctrico
- Buena resistencia mecánica y química
- Resisten la humedad y el ataque de fluidos corrosivos
- Resisten temperaturas elevadas
- Poca contracción al curar
- Excelentes propiedades adhesivas

Actualmente ya existen en el mercado resinas epoxi que sustituyen parte de la resina química por aceites procedentes de resinas vegetales como el pino o aceites recuperados. De este modo se consiguen resinas de gran calidad y rendimiento y que a la vez no tengan una dependencia del consumo de derivados petroquímicos.

Algunas de las aplicaciones de estas resinas:

- Pinturas, gelcoats y acabados. (protegen de la corrosión)
- Adhesivos
- Materiales compuestos, construcción de moldes, piezas maestras, laminados, extrusiones y otras ayudas a la producción industrial
- Sistemas eléctricos y electrónicos. Encapsulan y recubren motores, generadores, transformadores, reductores, escobillas, circuitos integrados,...
- Artesanía

2.2.5 Resinas vinilester

Las resinas de vinilester son resinas termoplásticas derivadas de la destilación del petróleo. Estas resinas tienen un mejor comportamiento que las resinas de poliéster no saturado ante la resistencia a la tracción y alargamiento a la ruptura. Además, las resinas de viniléster presentan una muy buena compatibilidad y una excelente resistencia cohesiva a las fibras de refuerzo dándole al laminado una resistencia más sólida con respecto a las resinas de

poliéster tradicionales. Las resinas viniléster son recomendadas para la fabricación de estanques, tuberías, revestimientos industriales y de pisos, celdas electrolíticas, parrillas de pisos, portacables y piezas especiales que requieran una máxima resistencia química combinada con una alta resistencia mecánica.

2.3 Moldes de silicona

La repetición exacta de una pieza la denominamos replicación o clonación. Los materiales para realizarla son variados (escayola, resinas, metales blandos...), sin embargo, la replicación se basa en dos objetos básicos:

- 1.- el modelo o pieza a replicar
- 2.- el molde que nos servirá para clonar el modelo.

En este caso nos decantaremos por silicona de vulcanizado a temperatura ambiente (RTV). La particularidad de este material es que se solidifica en unas 24 horas, habiéndolo mezclado con un catalizador, de acuerdo a las cantidades recomendadas por el fabricante de la silicona (normalmente un 5 - 10% en volumen de la silicona usada).

Los tipos de moldes que podemos realizar con la silicona son:

- Moldes en un sólo bloque
- Moldes en dos bloques
- Moldes de recubrimiento con silicona vertida
- Moldes de recubrimiento con silicona aplicada con brocha

Cada uno de estos tipos se realizará en función de la complejidad de la pieza a reproducir. En el caso de una pieza con un solo lado visto o un balaustre o pieza cilíndrica sin formas complejas podremos hacer un molde de un solo bloque. Normalmente en casos de piezas que pueden ser cortadas por un plano medio (soldados de plomo o figuras en miniatura) realizaremos un molde en dos bloques. Para casos más complejos y de tamaños grandes, donde no se quiere gastar mucha silicona, utilizaremos la técnica de los moldes de recubrimiento (ya sea con silicona vertida o con silicona aplicada con brocha).

En cualquier caso, uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta es el del modelo a reproducir, éste no debe ser poroso pues la silicona se introduciría en los poros del mismo y aparte de inutilizar el modelo no nos proporcionaría un molde apropiado.

En la replicación de piezas con moldes, el principal problema al que haremos frente es la lucha contra las burbujas de aire que puedan quedar mientras se realiza la colada.

Aunque el proceso de eliminación de burbujas se puede mejorar con la utilización de bombas de vacío, es en la confección y diseño del molde donde podemos actuar para minimizar la formación de burbujas en el proceso de colado. No hay ningún método que garantice una colada libre de burbujas de aire.

Un aspecto importante es seguir las indicaciones de seguridad del fabricante en el manejo y manipulación de estos productos. Es aconsejable no comprar mucho material si no lo vamos a utilizar en un plazo corto. El material puede perder propiedades a partir de 9 meses desde su producción

3 SELECCIÓN DE MATERIALES Y PROVEEDORES

La búsqueda se centró en conseguir los tipos de resinas líquidas con mayor y menor pico exotérmico, es decir, las resinas que mayor y menor temperatura alcanzan en el proceso de solidificación y la silicona apropiada para la fabricación de este tipo de moldes.

Tras no encontrar una respuesta unánime, se decidió pedir consejo a diferentes empresas punteras del sector con el fin de comparar sus respuestas y así tener una idea más global.

Empresas como Ferroca, Resinascastro, Hegardt.s.l. o Resineco disponen de una extensa gama de resinas con diferentes picos exotérmicos. Así se encontró una clara similitud en sus respuestas.

La elección fue la siguiente:

- Mayor pico exotérmico -> poliéster
- Intermedio -> epoxi
- Menor -> acrílicas

El proveedor seleccionado ha sido FERROCA, algunos factores que han influido en esta decisión aparte del precio de los productos que es muy similar en todos los casos ha sido la rapidez de respuesta a los correos o la claridad de las fichas técnicas y hojas de seguridad proporcionadas.

También es necesario el aprovisionamiento de silicona RTV adecuada para este tipo de coladas, desmoldeante para silicona y plastilina de modelar.



Ilustración 1. Materiales

4 EQUIPO NECESARIO Y PRUEBAS INICIALES

Las primeras pruebas fueron realizadas con el fin de familiarizarse con las técnicas de fabricación de moldes de silicona y coladas de resinas. Además fue necesaria una recopilación de todos los utensilios que se necesitan durante todo el proyecto.

Lo primero y muy importante fue un exhaustivo estudio de las fichas técnicas y hojas de seguridad para equiparse de los medios necesarios y así empezar a trabajar de forma segura.

4.1 EQUIPO NECESARIO

- **MEDIDAS DE SEGURIDAD**

Guantes de látex, mascarilla y gafas con protecciones laterales son los medios indispensables con los que trabajar ya que tanto la silicona como las resinas son tóxicas en contacto con la piel y además desprenden vapores que pueden ser peligrosos si se inhalan en exceso.



- **SILASTIC 3481 (A) / CATALIZADOR S-81 (B)**

Elastómero de silicona para fabricar moldes con los que hacer piezas de poliéster, poliuretano y epoxi. Se caracteriza por su elevada resistencia a este tipo de coladas que permiten numerosas reproducciones con un mismo molde. Además posee una excelente fluidez y elasticidad lo que conlleva a una capacidad de desmoldeo superior, y por tanto facilidad en la reproducción de piezas complejas.



- **FEROSIL V 32**

Desmoldeante para siliconas. Se utiliza para separar dos capas de silicona o para tapar poros en la pieza original.

- **PLASTILINA INDUSTRIAL**

Plastilina de uso industrial para hacer moldes en dos partes, cubrir poros, etc.

- **ACRYSTAL BASIC (A) / ACRYSTAL PRIMA (B)**

La resina acrílica, es una resina ecológica bicomponente, que cura a temperatura ambiente con la ayuda de un catalizador en base de agua. Especialmente adecuada para la realización de coladas y laminación.

- **EPOFER EX – 401 (A) / EPOFER E- 432 (B)**

Sistema no cargado diseñado para la reproducción de piezas en molde de silicona, formado por una Resina Epoxy (EX-401) y un endurecedor (E-432) que polimeriza a temperatura ambiente.

- **FERPOL 3501 (A) /ACELERADOR CH-8 (B) /CATALIZADOR F-11(C)**

Resina de poliéster insaturado, ortoftálica de baja reactividad y baja viscosidad, lo que la hace indicada para la fabricación de piezas en molde aumentando incluso la vida de éste, especialmente si está realizado en caucho de silicona.

- **RESINA DE POLIESTER T- A**

Resina de poliéster preacelerada

- **ALCOHOL POLIVINILICO**

Desmoldeante para resinas. Se utiliza para separar dos capas de resina. Crea una fina película sobre la pieza que facilita el desmoldeo.

- **UTILES DE MODELAR**

Paletas de distintas formas para modelar la plastilina en la realización de moldes de dos caras y pinceles para impregnar el desmoldeante en las superficies de silicona y resina.



- **FICHAS DE LEGO**

Fichas de lego para fabricar las paredes de los moldes que contendrán la silicona.

- **VASOS DE PLASTICO**

Vasos de plástico de distintos tamaños para hacer las mezclas de la silicona y resinas.

- **UTILES DE LIMPIEZA**

Acetona, trapos, jabón para las manos.

• PIE DE REY ELECTRONICO

Utilizado para medir las dimensiones de las probetas y moldes fabricados. Tiene una resolución de 0.01 mm y un rango de 150mm.



• BASCULA DE PRECISIÓN

Báscula de precisión para medir los porcentajes de material utilizados en las coladas. Tiene una resolución de 0.1 gramos y un peso máximo de 2000 gramos.

• TEMPERATURA

Instrumento de medida universal con hasta 4 entradas de medida, ALMEMO 2590 de la marca AHLBORN. Ofrece la posibilidad de conectar diferentes tipos de sensores (temperatura, presión, humedad,..).



Las características de este instrumento están disponibles en: <http://www.ahlborn.com/getfile.php?1883.pdf>

4.2 PRIMERAS PRUEBAS

Estas pruebas se inician con la fabricación de un molde de una cara para modelar una ficha de Lego. Así comienza el proceso de aprendizaje que se debe seguir para una correcta elaboración de los futuros procedimientos. Los pasos seguidos fueron los siguientes:

1. Montaje de las paredes del molde con fichas de Lego
2. Colocación de la pieza anclada al suelo y en el centro del recipiente
3. Mezcla de la silicona siguiendo los porcentajes establecidos por el fabricante (5% de catalizador con respecto a la cantidad de silicona empleada)
4. Vertido de la silicona en el molde lentamente.
5. Esperar el tiempo de curado (aprox. 24 h)

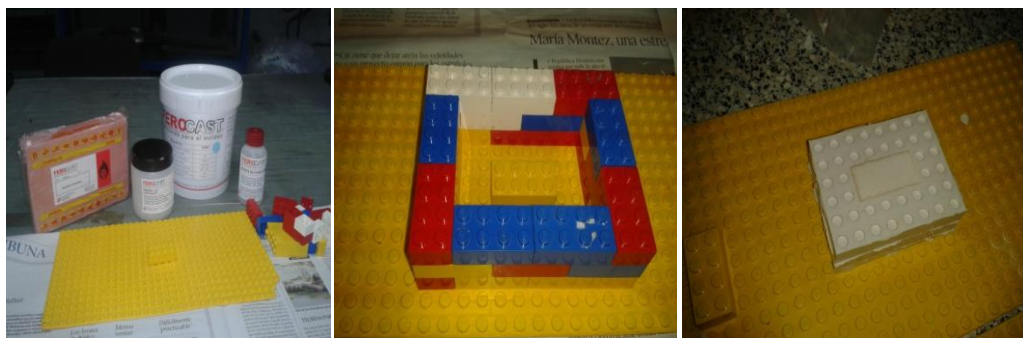


Ilustración 2. Pruebas iniciales

Una vez terminado el primer molde, se llevan a cabo las pruebas con resinas.

La primera colada de resina acrílica está mezclada con un porcentaje 2:1. El tiempo de solidificación de la mezcla es aproximadamente de unas dos horas, muy por encima del tiempo estimado por los fabricantes para este tamaño de pieza (aprox.35 minutos).

Releyendo la ficha técnica se comprueba que los porcentajes empleados son para piezas con espesores de muy pocos milímetros, por lo que la siguiente colada se realiza al 2,5 :1 y esta vez sí que se cumple el tiempo estipulado.

La siguiente colada de epoxi resulta perfecta en cuanto a tiempo y porcentajes, sin embargo, con la colada de poliéster surge el siguiente problema.

El porcentaje de acelerante es demasiado pequeño como para poder controlarlo con la báscula disponible. Al hacer piezas pequeñas del orden de 10-20gr, la cantidad de acelerante oscila entre 0.02 – 0.04 gr. Esta cantidad es imposible de medir con la bascula cuya precisión mínima era de 0.1 gr.

Se plantea comprar una nueva bascula con mayor precisión pero el precio es bastante elevado (200€ mínimo). Finalmente, se toma la decisión de comprar una resina de poliéster preacelerada que apenas supone 7 €. La utilización de esta nueva resina es mucho más sencilla debido a que solo hay que mezclarla con el catalizador adecuado (peróxido de mek.) al 2% y se evita el 0.02% de acelerante que como ya hemos mencionado anteriormente es imposible de pesar con exactitud con los medios de que se disponen.

Las medidas de las primeras reproducciones fueron las siguientes:

Unidades en mm	Modelo	Acrílica 1	Acrílica 2	Epoxi	Poliéster
Ancho	15,83	15,85	15,82	15,67	15,62
Largo	31,83	31,86	31,81	31,62	31,4
Alto	9,56	9,97	9,81	9,48	9,49
Circulo	4,87	4,87	4,85	4,81	4,68

Tabla 3. Medidas fichas de lego

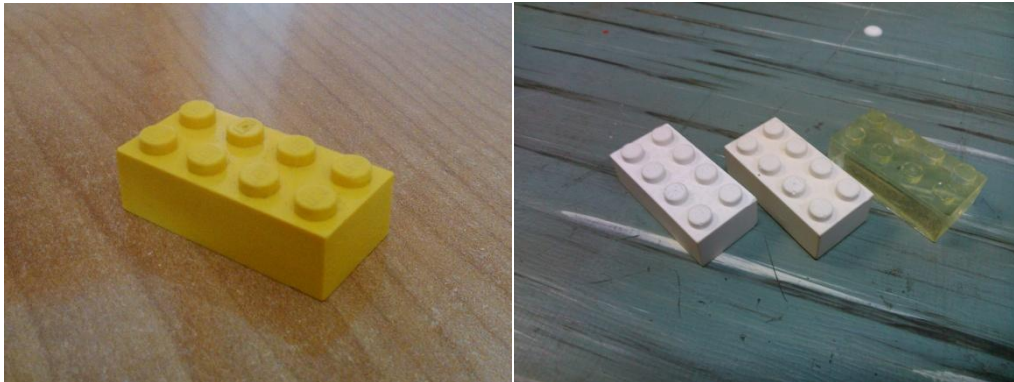


Ilustración 3. Ficha de lego original y 1ª reproducciones

Conclusiones pruebas iniciales:

- Las medidas en la altura no son controlables con exactitud al estar el molde abierto por esa cara.
- Las medidas en las acrílicas salen casi idénticas.
- Las resinas epoxi y sobre todo las de poliéster sufren contracción.

5 ELABORACIÓN MOLDES DE SILICONA

5.1 PROCEDIMIENTOS PARA HACER MOLDES DE 1 Y 2 CARAS

El primer paso es establecer un procedimiento para hacer los moldes de una y otro para los de dos caras. Con la experiencia obtenida en las pruebas iniciales y la continua documentación se elaboran los siguientes procedimientos.

	PROCEDIMIENTO PARA HACER MOLDES DE 1 CARA
1	Preparar un recipiente donde se vaya a echar la silicona: -Medir las distancias del modelo dejando un margen como mínimo de 1 cm en cada dirección. -Montar la caja con las medidas adecuadas (las fichas de Lego son muy útiles)
2	Situar el modelo fijo en el centro del recipiente, es aconsejable sujetarla al suelo (pegamento, plastilina,..) ya que si no al verter la silicona la pieza se levantará y el molde saldrá defectuoso.
3	Untar las paredes del recipiente con desmoldeante para siliconas para facilitarnos el desmoldeo (NO la pieza porque influirá en las medidas y detalles del molde.)
4	Preparar la silicona según especificaciones del fabricante, para saber la cantidad que vamos a utilizar se puede comparar con arroz, ya que ambas densidades son muy similares. (aprox. 1 gr/cm ³)
5	Verter la silicona lentamente, desde la misma esquina y desde una altura de unos 70 mm para romper las burbujas de aire que se forman en la silicona y que luego nos pueden ocasionar fallos en el molde
6	Tiempo de curado aproximado de 24 horas

	PROCEDIMIENTO PARA HACER MOLDES DE 2 CARAS
1	Preparar un recipiente donde se vaya a echar la silicona: -Medir las distancias del modelo dejando un margen lo suficientemente grande para asegurarnos que el apriete del molde no afecta a las dimensiones de la pieza ya que la silicona es muy flexible. -Montar la caja con las medidas adecuadas (las fichas de Lego son muy útiles)
2	Introducir la mitad del modelo (plano de partición del molde) en una base de plastilina para hacer la primera parte del molde.
3	Introducir unas espigas de alineamiento en la plastilina o hacer unas marcas para posicionarlo una vez acabadas las dos partes.
4	Recubrir la plastilina y las paredes del recipiente con desmoldeante para facilitar el desmoldeo y evitar que la silicona se pegue (NO recubrir el modelo con desmoldeante).
5	Preparar la silicona según especificaciones del fabricante, para saber la cantidad que vamos a utilizar se puede comparar con arroz, ya que ambas densidades son muy similares. (aprox. 1 gr/cm ³)
6	Verter la silicona lentamente, desde la misma esquina y desde una altura de unos 70 mm para romper las burbujas de aire que se forman.
7	Tiempo de curado aproximado de la silicona 24 horas.
8	Una vez catalizada la silicona, se elimina la plastilina sin extraer la otra mitad del modelo que debe quedar descubierta y sin restos de plastilina.
9	Hacer tantos bebederos como sea necesario dependiendo de la complejidad de la pieza, se puede utilizar la plastilina sobrante.
10	Cubrir la silicona, bebederos y paredes de la caja con desmoldeante para que no se adhiera la segunda parte del molde a la primera.
11	Verter la silicona de la misma manera que antes.

5.2 FABRICACIÓN DE LOS MOLDES

A partir de los resultados obtenidos tras las pruebas iniciales descritas anteriormente se decide hacer los moldes de las probetas de dos caras. La necesidad de poder controlar el espesor en las probetas es fundamental, ya que dichas probetas son fabricadas para pruebas como la de tracción. Las

dimensiones de las probetas están establecidas según la Norma UNE EN-ISO 3127:2002 Plásticos. Probetas para usos múltiples.

Acabado el diseño de la probeta con el programa SolidEdge, es necesario adaptar el formato para que la impresora 3D pueda fabricarlas.

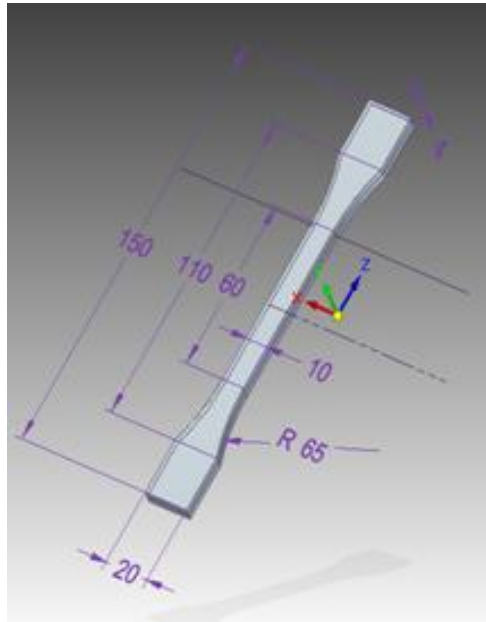


Ilustración 4. Probeta normalizada tipo B en SolidEdge

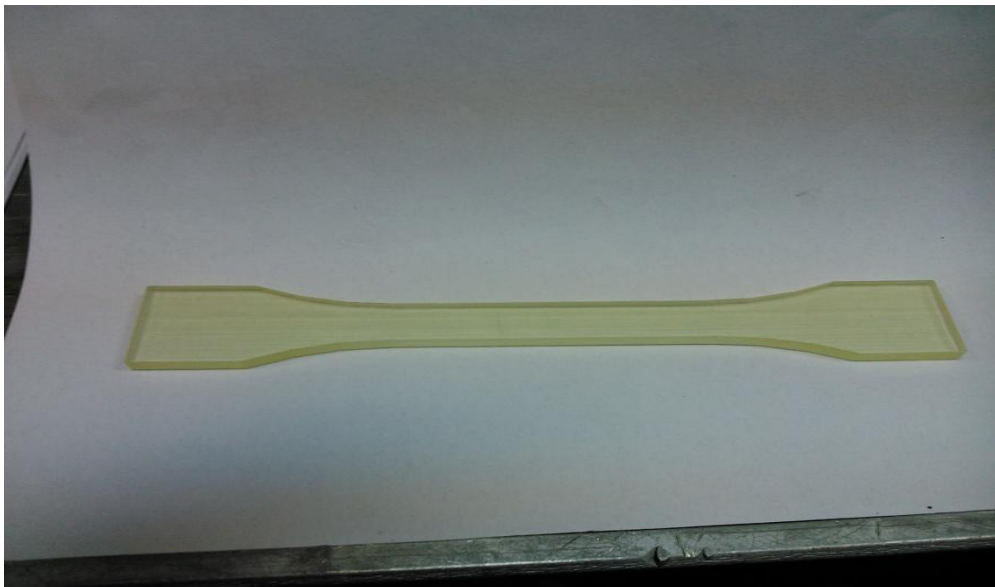


Ilustración 5. Probeta tipo B fabricada en impresora 3D

Una vez hechas las probetas es preciso medir sus dimensiones para compararlas con las piezas reproducidas en los moldes.

Nominales	20	10	150	4
probeta 1	20,02	10,01	150,03	3,96
probeta 2	20,01	10	150,1	3,96

Tabla 4. Medida en mm de las probetas patrón

Siguiendo los pasos establecidos en el procedimiento anterior (5.1) se realizan tres moldes de dos caras para utilizar en cada uno de ellos una resina diferente y poder ver diferencias entre uno y otro.

La elección de los moldes de dos caras como hemos mencionado anteriormente viene por la necesidad de controlar el espesor, más adelante veremos las complicaciones que han ido surgiendo por haber escogido dicha opción.



Ilustración 6. Moldeo de la plastilina



Ilustración 7. 2ª cara y resultado final

Un factor que influye en la vida útil de los moldes y en sus cualidades es el tiempo de postcurado. Según los fabricantes, tras el tiempo de curado de 24 horas aproximadamente, es conveniente dejar reposar la silicona otros 3 días para que alcance sus condiciones más óptimas para la reproducción de piezas.

6 COLADAS DE RESINA EN MOLDES DE SILICONA

6.1 DESARROLLO DE LAS COLADAS

A priori, nuestros objetivos son:

- Comprobar que la silicona puede soportar la temperatura que alcanzan las resinas al catalizar.
- Comprobar que las tolerancias de la Norma UNE EN-ISO 3127:2002 se cumplen.

En la siguiente tabla se reflejan las características útiles para la realización de coladas con estos tres tipos de resina: acrílicas, epoxi y poliéster.

	R.ACRÍLICAS	R.EPOXI	R. DE POLIESTER
% de mezcla	2,5 A – 1 B 2 A – 1 B (espesores de pocos mm)	100 A – 32 B	Base + 2% catalizador (MEKP)
Tiempo de gel (min)	8 – 10	90	10
Tiempo de curado (horas)	6 alcanza el 90% de su dureza (45 min ya se puede sacar del molde)	18 -24 (después de 24 horas esta solido pero se deforma excesivamente,)	40 min
Medidas de seguridad	Guantes, gafas y ropa de protección, Mascarilla (solo si hay mala ventilación)	Guantes, gafas y ropa de protección. Mascarilla (solo si hay mala ventilación)	Guantes, gafas y ropa de protección y mascarilla

Tabla 5. Resumen de % y tiempos de gel y curado

- **% de la mezcla.** Respetar los porcentajes establecidos por los fabricantes.
- **Tiempo de gel y curado.** Los tiempos de la tabla son a una T.amb. = 25 °C y con los porcentajes establecidos. Si utilizamos diferentes %, estos tiempos pueden cambiar, así como la temperatura alcanzada al solidificarse.
El tiempo de curado de la resina epoxi según mi valoración es mucho mayor que el establecido por los fabricantes.
- **Medidas de seguridad.** Es muy importante antes de empezar a trabajar con estos productos un exhaustivo estudio de las Hojas de Seguridad proporcionadas por los fabricantes.

Una vez empezada la reproducción sistemática de probetas se puede comprobar que la silicona soporta las temperaturas que alcanzan las resinas.

Siguiendo los porcentajes establecidos por los fabricantes se fijan las masas para hacer cada una de las probetas. De este modo se optimiza la cantidad total de material disponible y no se desperdicia material en cada colada.

- Probeta poliéster → 14 gr – 0.3gr
- Probeta epoxi → 12gr A – 3,8gr B
- Probeta acrílica → 15gr A – 7.5gr B

Los moldes son colocados de forma vertical para aprovechar la gravedad que hace que la colada se valla depositando en el fondo hasta que se rellena por completo. Una vez lleno es conveniente darle unos golpes por si han quedado burbujas en el interior.



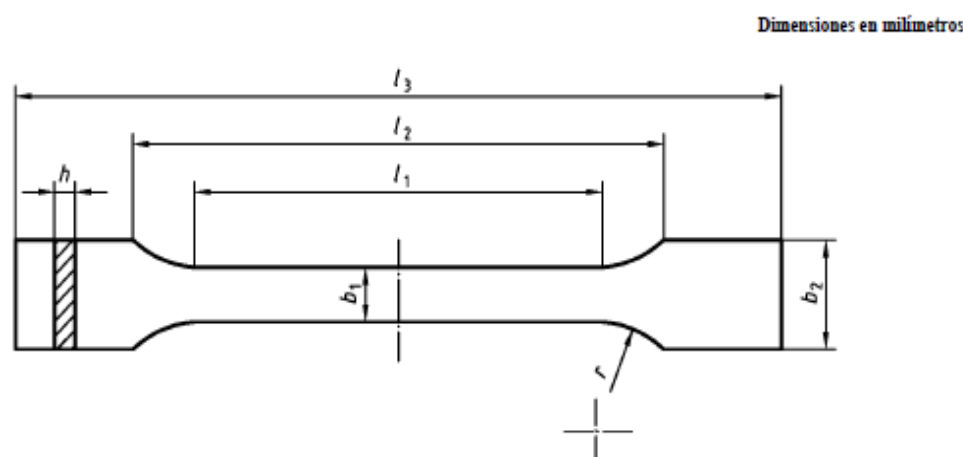
Ilustración 8. Molde de dos caras en posición vertical

También es importante dejar un bebedero lo suficientemente amplio para compensar la contracción de la resina epoxi y del poliéster, aunque como se verá en el apartado siguiente no es la solución definitiva.

6.2 Resultados (tolerancias)

Medición de las dimensiones obtenidas en las probetas para comprobar que se cumplen las dimensiones y tolerancias que dicta la Norma UNE EN-ISO 3127:2002.

Esta medición permite obtener una valoración de cómo se comportan las diferentes resinas en los moldes de silicona.



	Tipo de probeta	A	B
l_3	longitud total ^a	≥ 150 Valor recomendado ^b 170	≥ 150
l_1	longitud de la parte estrecha central	80 ± 2	$60,0 \pm 0,5$
r	radio	20 a 25 Valor recomendado ^b 24 ± 1	$\geq 60^c$ Valor recomendado ^b $60,0 \pm 0,5$
l_2	distancia inicial entre las partes paralelas anchas ^d	104 a 113	106 a 120 Valor recomendado ^b 106 a 110
b_2	anchura en los extremos	$20,0 \pm 0,2$	
b_1	anchura de la parte estrecha	$10 \pm 0,2$	
h	espesor	$4,0 \pm 0,2$	

^a La longitud total recomendada de 170 mm para el tipo A es consistente con las Normas ISO 294-1 e ISO 10724-1. Para algunos materiales, puede ser necesario exceder la longitud de las etiquetas (por ejemplo, para dar una longitud total de 200 mm) para prevenir fugas o deslizamientos en las mordazas de la máquina de ensayo.

^b Los valores e intervalos recomendados pueden convertirse en obligatorios en la próxima revisión de la norma. Las tolerancias inferiores en el radio reducen los intervalos de concentraciones de esfuerzos que se encontraban en las transiciones entre las partes paralelas estrechas y las porciones redondeadas. Junto con las menores tolerancias en la distancia entre las partes paralelas anchas para el tipo B, puede utilizarse un valor común de la distancia inicial entre las mordazas para el ensayo de tracción (véase la Norma ISO 527-2).

^c
$$r = \frac{(l_2 - l_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}{4(b_2 - b_1)}$$

^d Resultante de l_1 , r , b_1 y b_2 , pero dentro de la tolerancia indicada.

Tabla 6. Tolerancias Norma UNE EN-ISO 3127:2002.

Para comprobar dichas tolerancias se utiliza un pie de rey electrónico. Ver características en el apartado 4.1.

Las medidas están tomadas a partir de unas referencias posicionales marcadas en cada probeta. De esta manera se empieza a sacar las primeras conclusiones.

En las gráficas siguientes se muestran las dimensiones B2 (ancho de 20mm), B1 (ancho de 10mm) y h (espesor).



Ilustración 9 – probetas de resina

6.2.1 Resinas acrílicas

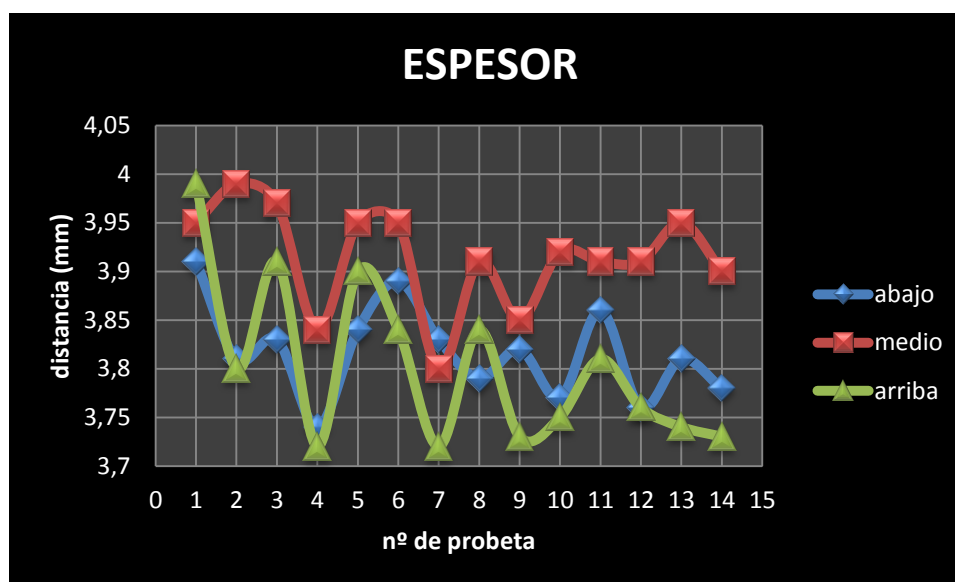


Tabla 7.Espesor acrílicas

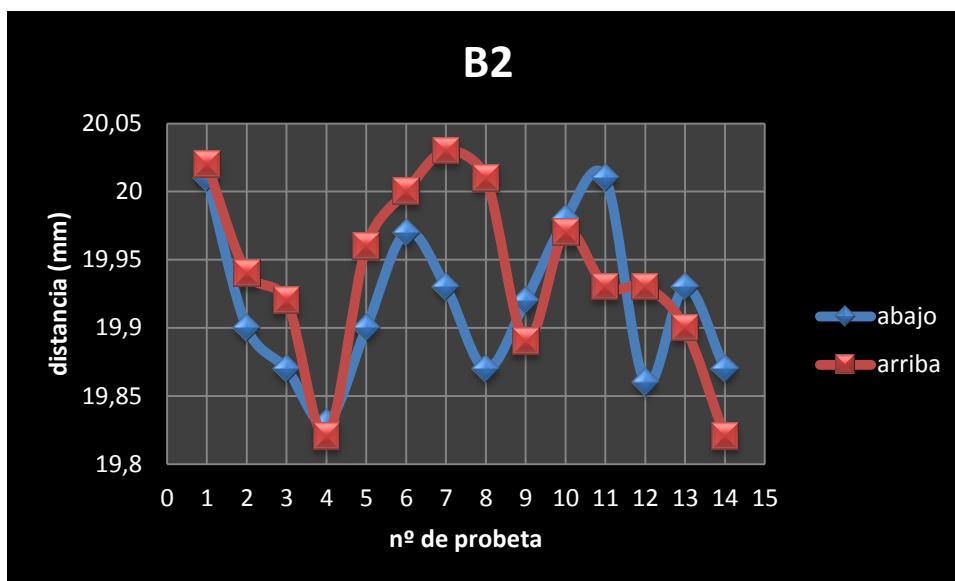


Tabla 8. B2 acrílicas

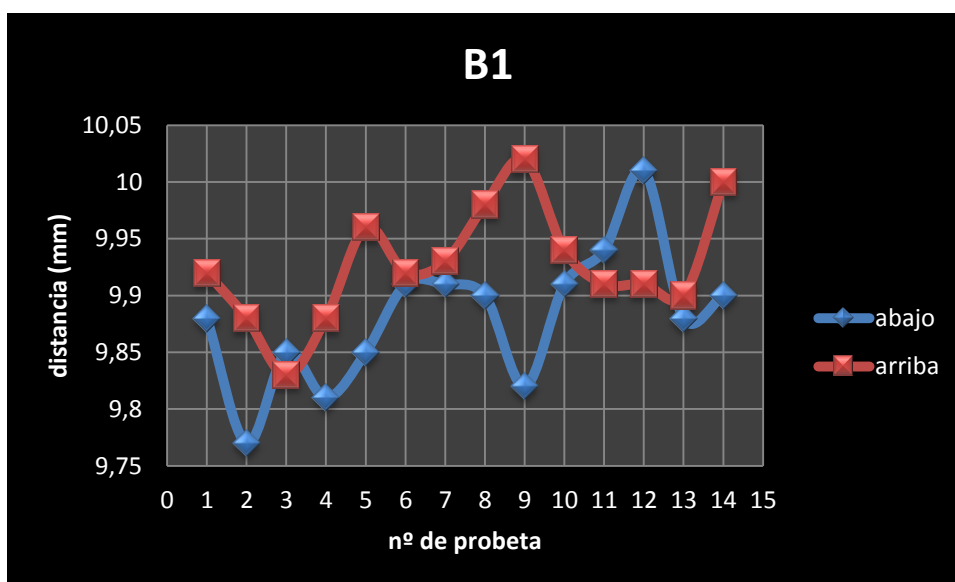


Tabla 9 B1 acrílicas

Estas probetas están hechas con un molde de dos caras colocado en posición vertical. Hay que tener en cuenta las dimensiones de las probetas patrón. El molde utilizado para la reproducción de las probetas con resina acrílica está fabricado con la probeta 2, por lo que las referencias para valorar las tolerancias serán las dimensiones tomadas en dicha probeta. Por ejemplo, el espesor es de 3,96 en vez de 4,00 mm que es el nominal.

Tanto en B2 como en B1 las dimensiones entran en el rango de $\pm 0,2$, es decir las tolerancias se cumplen.

Las medidas en el espesor oscilan entre 3,7 - 3,98 mm, es decir las tolerancias no se cumplen todas las veces. Analizando las tablas 7, 8 y 9 se puede apreciar que alguna medida es significativamente diferente a la anterior. Esto está ocasionado porque no se puede controlar que la fuerza ejercida con el celo (para unir las dos partes del molde) sea siempre la misma en cada colada y por tanto, es evidente que la presión ejercida por el celo influye en las medidas de la pieza.



Para corroborar esta teoría se utiliza una sola cara del molde y así poder comprobar que efectivamente el apriete influye en las medidas.

Ilustración 10. Coladas en mitad del molde.

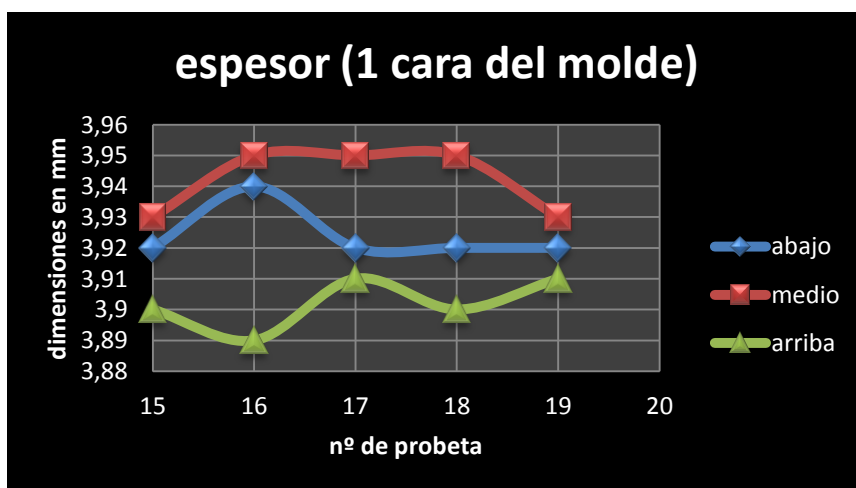


Tabla 10. Espesor acrílicas (una parte del molde de dos caras)

Sin la utilización del celo se observa que las medidas son prácticamente idénticas a las de la probeta patrón. Además, las medidas son constantes a lo largo de toda la probeta, al contrario que si se utiliza el celo como apriete. Estos resultados indican que las tolerancias con este tipo de resina se pueden cumplir sin ningún problema y que el fallo ha sido provocado por el escaso espesor de pared en el molde de silicona. Con el fin de mejorar el método se fabrican unas escuadras de acero de 1 mm de espesor para distribuir uniformemente la presión de apriete y intentar conseguir mejores resultados.

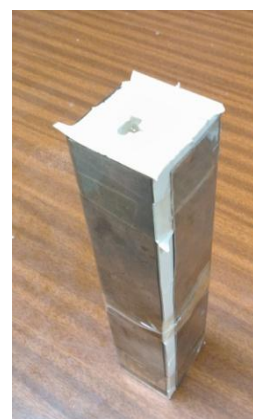


Ilustración 11. Molde con escuadras como apriete.

acrílicas	espesor		
	abajo	medio	arriba
20	3,79	3,83	3,82
21	3,92	3,88	3,9

Tabla 11. Medidas resina acrílica con escuadras como apriete

Las tolerancias se cumplen y se aprecia que al estar la presión de apriete distribuida a lo largo de todo el molde, el espesor es mucho más uniforme en toda su longitud.

Sigue habiendo diferencia entre las medidas de las probetas por lo que la presión de apriete sigue afectando a las dimensiones de la pieza.

6.2.2 Resinas de poliéster

Para estas resinas se han seguido los mismos procedimientos que para la acrílica, es decir moldes de dos caras, una sola parte del molde y finalmente las escuadras. El modelo utilizado para la realización de este molde es la probeta 1.

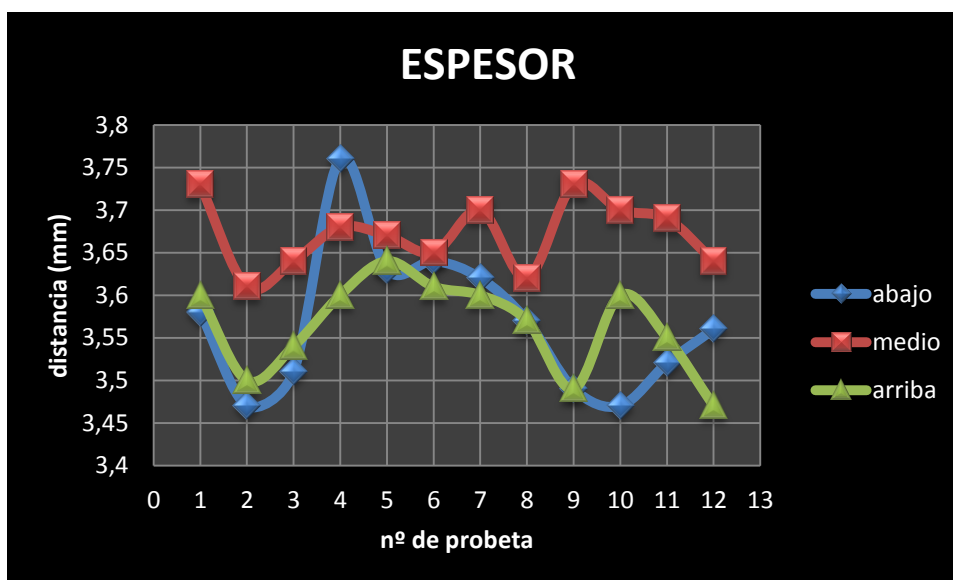


Tabla 12. Espesor poliéster

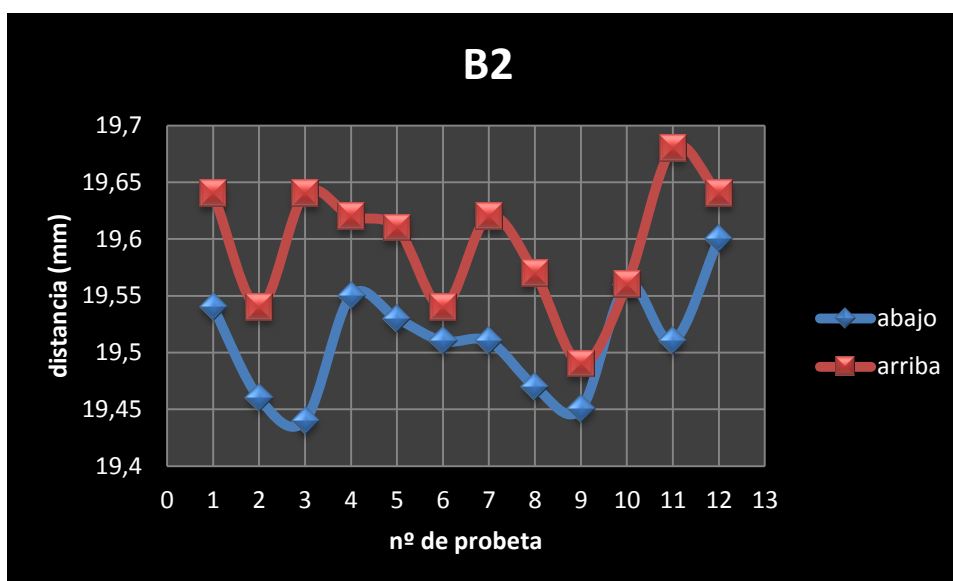


Tabla 13. B2 poliéster

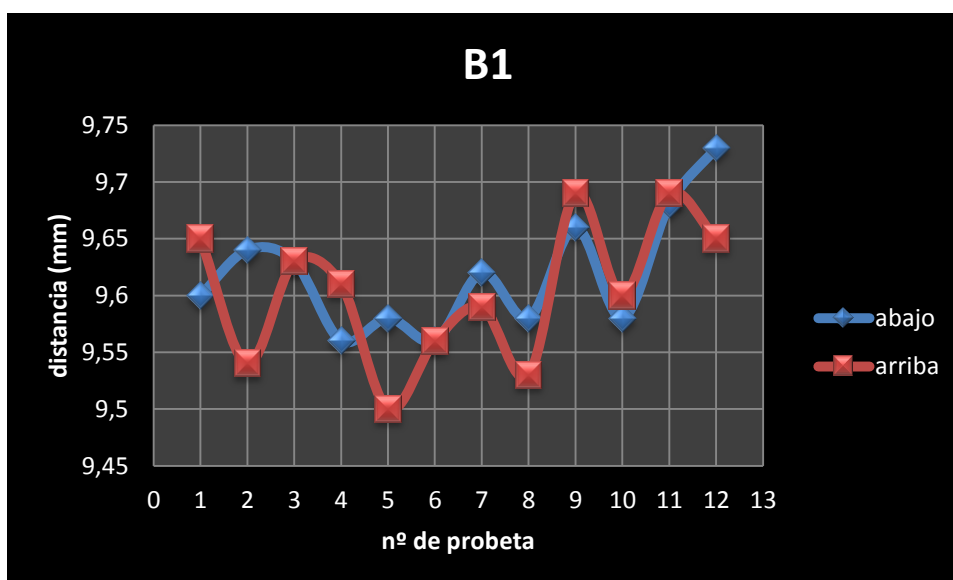


Tabla 14. B1 poliéster

En las tablas 12, 13 y 14 se observa como las resinas de poliéster no cumplen las tolerancias en ninguna de las longitudes medidas. Ya en las pruebas iniciales se puede apreciar que las piezas obtenidas con esta resina no salen con las medidas adecuadas. Esto se debe en gran parte a la contracción que sufren y al igual que en las resinas acrílicas, al apriete del celo. La influencia del celo se puede distinguir en la diferencia de las medidas entre una probeta y otra, que en algunos casos es de hasta 0.15 mm.

A continuación se vierten varias coladas con mitad del molde para comprobar hasta qué punto afecta el celo y la contracción del material.

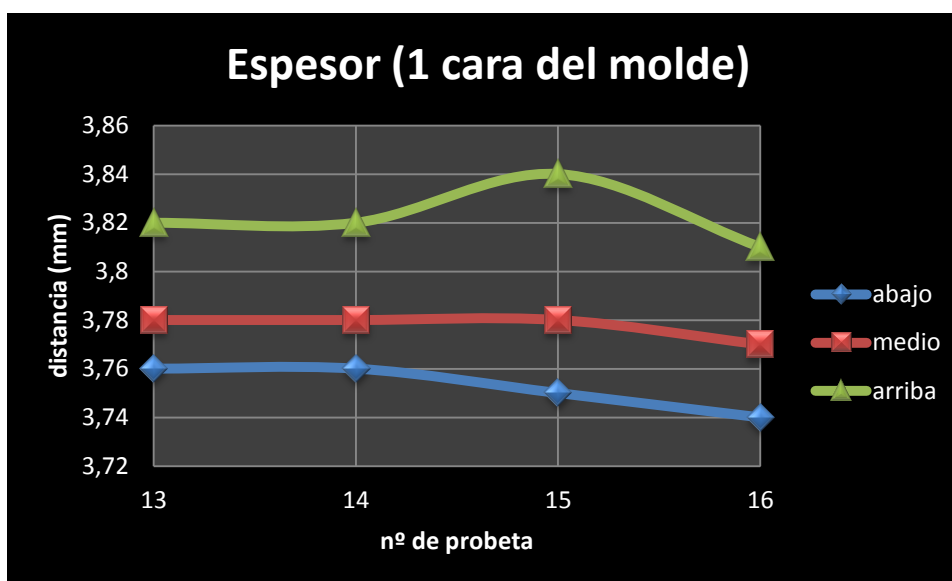


Tabla 15. Espesor poliéster. (Una parte del molde de dos caras)

Viendo los datos de la tabla 15 se puede justificar que el apriete del celo influye considerablemente en las dimensiones de las piezas, al igual que pasa en las acrílicas. Las medidas están en el límite de las tolerancias.

Para asegurarse de que el molde tiene las medidas correctas y que efectivamente la resina de poliéster sufre contracción, se ejecuta una colada de resina acrílica en el molde utilizado para la resina de poliéster y viceversa.

Medidas en mm	espesor		
	abajo	medio	arriba
Acrílica en molde de acrílica	3.92	3.94	3.9
acrílica en molde de poliéster	3,89	3,91	3,93
Poliéster en molde de poliéster	3.76	3.78	3.82
poliéster en molde acrílica	3,78	3,81	3,79

Tabla 16. Comparación molde acrílicas- poliéster

Una vez comprobado que la resina de poliéster sufre contracción, se aplican las escuadras para comprobar la influencia del celo.

Medidas en mm	espesor		
	abajo	medio	arriba
poliéster			
17	3,6	3,56	3,58
18	3,55	3,56	3,57

Tabla 17. Molde poliéster con escuadras como apriete.

Como en las resinas acrílicas el espesor es uniforme a lo largo de toda la probeta.

6.2.3 RESINA EPOXI

Mismos procedimientos que en las resinas anteriores. El modelo utilizado para hacer este molde ha sido la probeta 1.

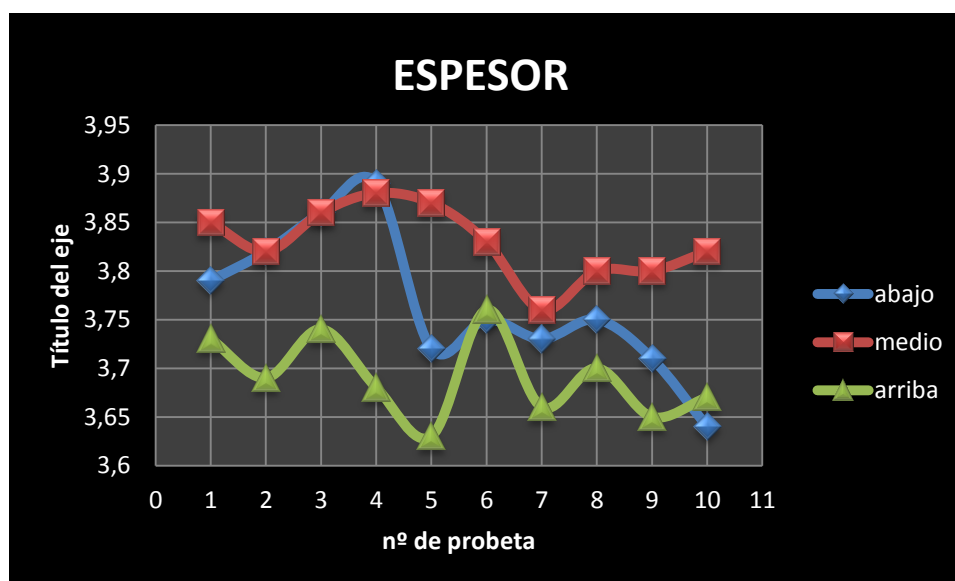


Tabla 18. Espesor epoxi

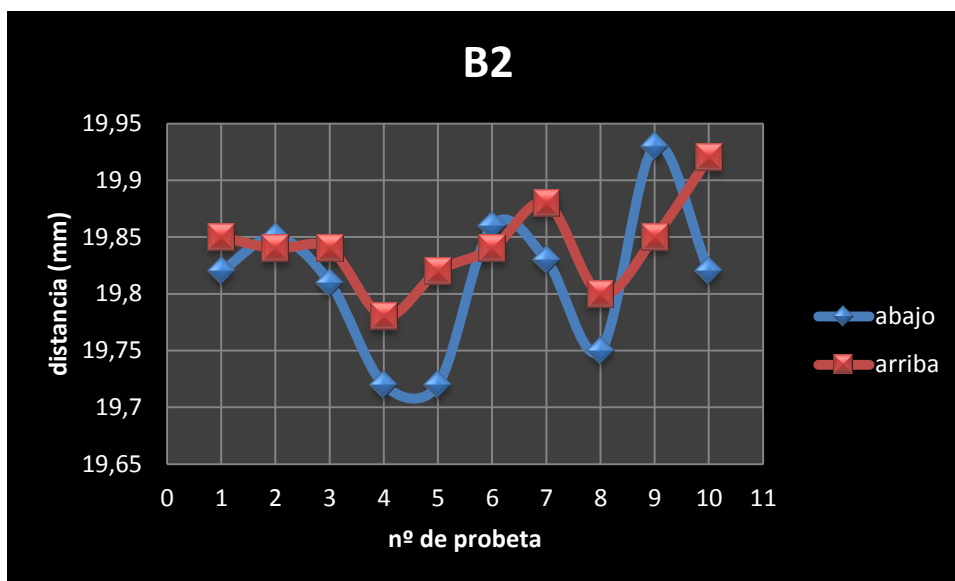


Tabla 19. B2 epoxi

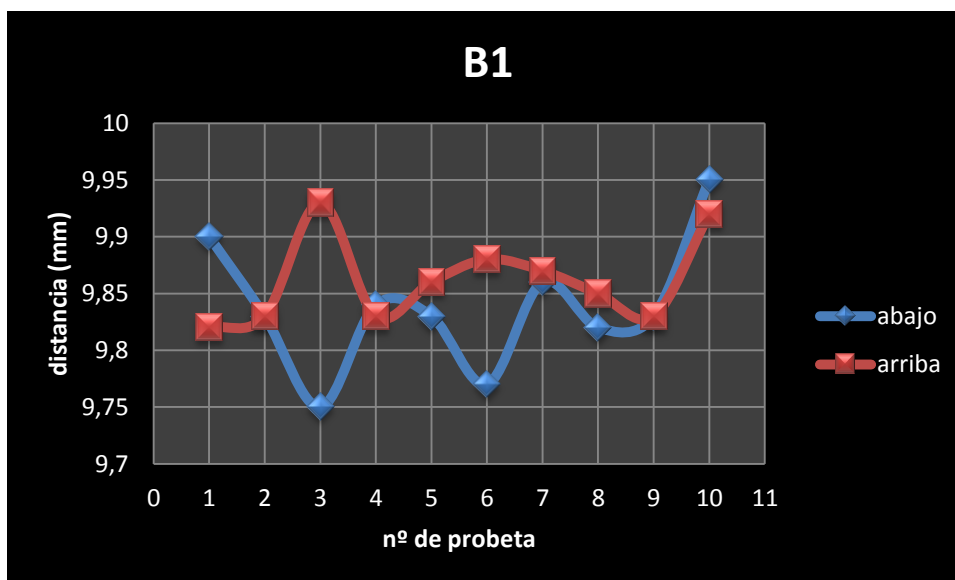


Tabla 20. B1 epoxi

Observando las gráficas anteriores se puede observar que los resultados obtenidos en las tolerancias de las resinas epoxi se encuentran a mitad de camino entre las dos resinas anteriores. Por un lado se percibe que la diferencia de medidas entre una y otra probeta indica que el apriete del celo influye. Por otro lado se obtienen mejores resultados en las medidas lo que indica que tiene menor contracción que las resinas de poliéster. Sin embargo no todas las medidas entran en el rango de las tolerancias.

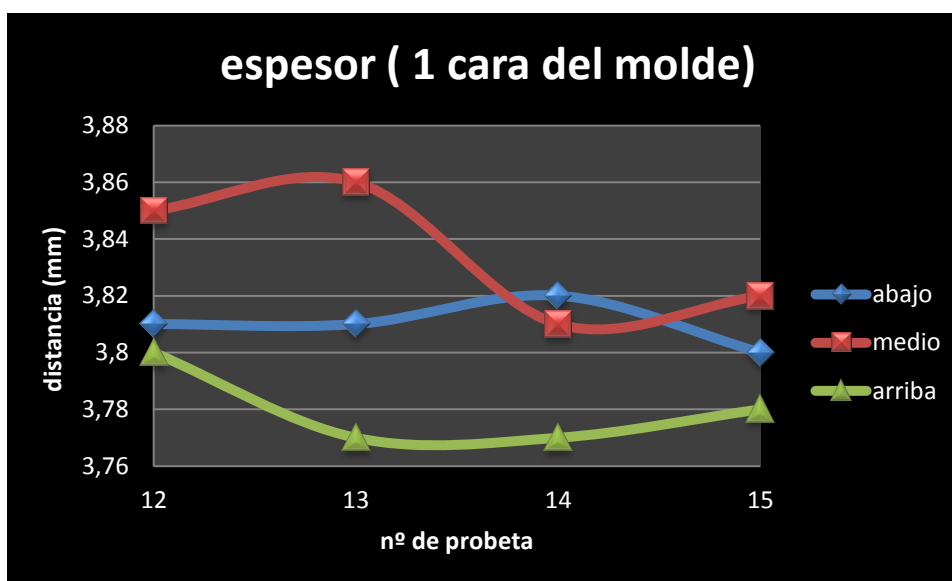


Tabla 21. Espesor epoxi (una parte del molde de dos caras)

En la tabla 21 se observa que sin la influencia del celo las tolerancias se cumplen ya que el espesor real del modelo es de 3,96 mm. Sin embargo la diferencia con las medidas del modelo es mayor que con las resinas acrílicas

epoxi	espesor		
	abajo	medio	arriba
16	3,69	3,7	3,73
17	3,72	3,72	3,71
18	3,75	3,72	3,73

Tabla 22. Medidas epoxi con escuadras como apriete

Al igual que en las resinas anteriores se consigue mayor uniformidad en la medida del espesor pero sigue afectando el apriete.

Un aspecto a tener en cuenta en las coladas de resina epoxi es que penetra muy bien en todas las huecos. Esto es positivo para alcanzar un elevado grado de detalle pero también penetra por la cavidad que une a las dos partes del molde. Esto provoca la necesidad de aumentar la fuerza de apriete en relación con las resinas acrílicas y poliéster.

6.3 COMPARACIÓN DE LAS RESINAS EN MOLDE DE UNA CARA

Ya hemos visto que el apriete del celo debido al insuficiente espesor de pared de los moldes ocasiona variaciones en las medidas de la pieza.

Para analizar más detalladamente el fenómeno de la contracción se comparan las tres resinas en un mismo molde de 1 cara, ya que no afecta ningún tipo de apriete y al ser el mismo molde, las medidas de la cavidad son las mismas en las tres resinas.

acrílicas			
	B2	B1	B2
1	19,93	9,93	19,93
2	19,97	9,96	19,97
epoxi			
1	19,91	9,91	19,89
2	19,87	9,88	19,86
poliéster			
1	19,72	9,74	19,7
2	19,72	9,76	19,73

Tabla 23.Comparación resinas (molde de una cara)

En la tabla 23 se confirma cómo la resina de poliéster es la que más contracción tiene. La resina epoxi se contrae ligeramente pero cumple las tolerancias sin ningún problema, al igual que la acrílica, cuyas reproducciones son casi idénticas a las de la probeta patrón.

Como ya hemos mencionado antes, el problema de estos moldes es que no permiten controlar el espesor en la cara abierta.

6.4 VIDA ÚTIL DE LOS MOLDES

La vida útil de los moldes es el número de piezas que es capaz de reproducir sin deteriorarse. Este era uno de nuestros objetivos del proyecto pero la gran durabilidad de los moldes de silicona RTV ha provocado que no se alcancen sus límites de uso.

Tras fabricar alrededor de veinte probetas en cada molde siguen en un estado óptimo para la reproducción.

7 MOLDES DE RESINA

En este apartado se muestran las pruebas iniciales que se han llevado a cabo para analizar la fabricación de piezas en moldes de resina hechos en la impresora 3D (prototipado rápido).

El planteamiento inicial consiste en elaborar los moldes adecuados y posteriormente comprobar la viabilidad de dicho proceso analizando factores como el desmoldeo, la temperatura que soportan los moldes o las tolerancias obtenidas.

El primer paso es diseñar los moldes en SolidEdge, se imprimen cuatro moldes (uno para pruebas iniciales y otros tres para cada tipo de resina).

Con el fin de ahorrar material de la impresora, se aplica una escala de 2:1 a la probeta a excepción del espesor que se mantiene en 4 mm. Además cuenta con un ángulo de desmoldeo de $1,5^\circ$ para favorecer la expulsión de la pieza.

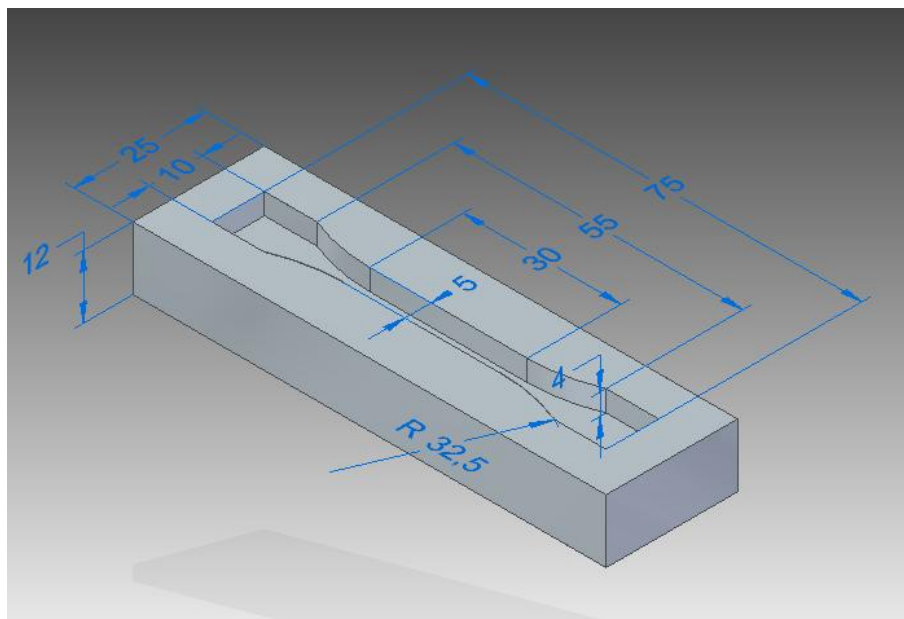


Ilustración12. Molde de resina en SolidEdge



Ilustración13 Moldes de resina

El primer paso antes de realizar la colada es aplicar una capa de desmoldeante al molde (alcohol polivinílico). Este desmoldeante aplica una película sobre la cavidad del molde para facilitar la expulsión.

Una vez realizada la primera colada se observa que no es suficiente con el ángulo de desmoldeo y el alcohol polivinílico para extraer la pieza del molde.

Para solucionar este problema se confeccionan unos agujeros en el molde con la intención de utilizar unos expulsores.



Ilustración 14. Molde de resina con agujeros para utilizar eyectores.

A la hora de hacer la colada se sellan los agujeros de plastilina. La extracción de la pieza mejora pero no es suficiente para no dañar la pieza. La resina acrílica se fractura y las otras dos se deforman.

Otra solución podría ser fabricar los moldes articulados similares a los moldes de inyección, es decir desmontables y con los expulsores adecuados. A la hora de realizar la colada utilizar elementos de fijación para ensamblarlos.

Partiendo el molde por la mitad y utilizando un gato para mantenerlo junto durante la colada se consigue una probeta de resina acrílica sin romper. En cambio con la resina epoxi, la colada entra por la línea de partición y deja completamente pegado e inservible el molde.



Ilustración 15. Molde de resina unido con un gato

8 TEMPERATURA (PICO EXOTÉRMICO)

8.1 MEDIDA DE TEMPERATURA CON LA MASA DE UNA PROBETA

Uno de los objetivos del proyecto es conocer la temperatura que alcanzan las resinas al solidificarse (pico exotérmico) y así comprobar cómo afectan tanto a los moldes de silicona como a los de resina.

Para medir la temperatura se ha utilizado un instrumento de medida universal con hasta cuatro entradas de medida, ALMEMO 2590 de la marca AHLBORN. Este aparato permite la conexión simultánea de diferentes tipos de sondas (temperatura, presión, humedad). Con la utilización de dos sondas diferentes se ha medido la temperatura ambiente y la temperatura de la resina.

Las características del ALMEMO 2590 se pueden ver en el apartado 4.1.

En primer lugar se evalúa la temperatura de la resina sobre el molde de una cara, pero al ser el volumen de la cavidad de la pieza tan pequeño y el espesor tan delgado apenas entra la sonda y las temperaturas reflejadas no son las correctas.

Por lo que se decide utilizar un recipiente (vaso) para realizar todas las mediciones posteriores sobre una misma forma. De este modo, la temperatura reflejada por la sonda es la real.

La sonda utilizada es recubierta con un envoltorio plástico para evitar que se impregne de resina.

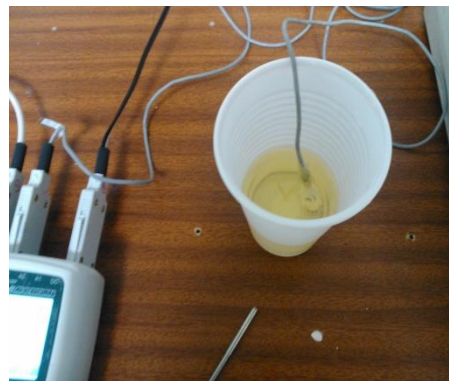


Ilustración 16. Medida de la temperatura en las resinas

Debe constar que los resultados obtenidos en este apartado, han sido tomados utilizando exclusivamente los porcentajes proporcionados por los fabricantes de

las resinas, ya que si se recurre a porcentajes diferentes, estos pueden influir en el pico exotérmico alcanzado, en los tiempos de gel, tiempos de curado y en el tiempo hasta alcanzar la máxima temperatura.

Las tres primeras medidas de 20 gramos, aproximadamente la masa una probeta, alcanzan los siguientes resultados:

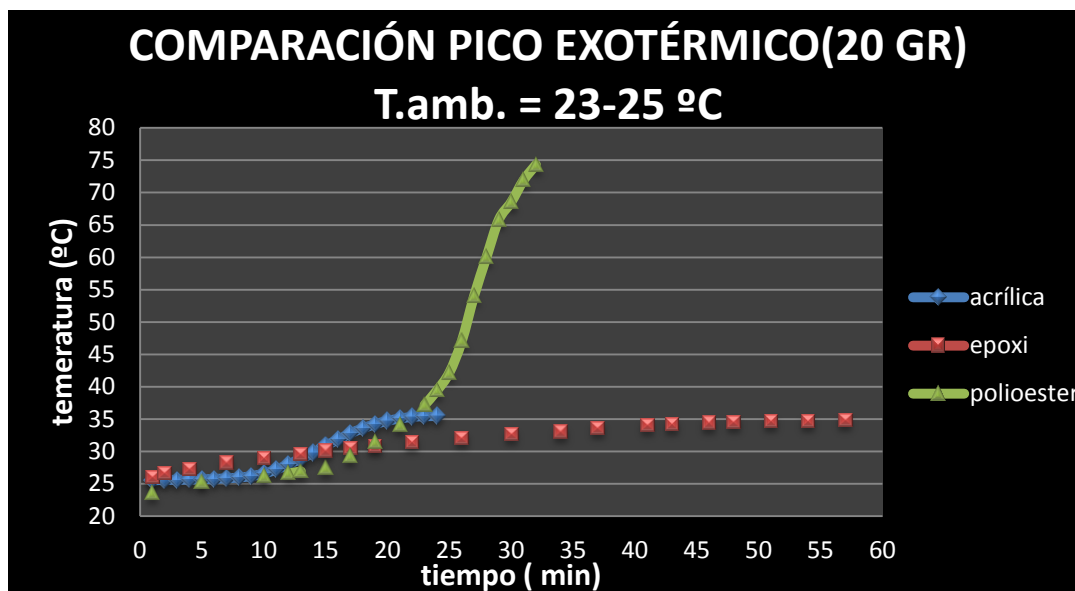


Tabla 24. Comparación pico exotérmico (20GR)

En la gráfica se puede observar el tiempo que tarda cada resina en alcanzar su pico exotérmico. Las resinas acrílicas y el poliéster al tener un tiempo de gel y curado mucho más corto que la resina epoxi alcanzan la máxima temperatura mucho antes. Una vez han llegado a la máxima temperatura sufren un enfriamiento constante hasta llegar a la temperatura ambiente y terminar de solidificarse.

También se contempla como el poliéster alcanza una temperatura muy superior a las otras dos resinas.

A continuación se analiza la relación temperatura/ tiempo con masas diferentes para cada resina para conocer hasta que punto influye el tamaño de la pieza en la máxima exotérma.

8.2 RESINAS ACRÍLICAS (MASA / TEMPERATURA)

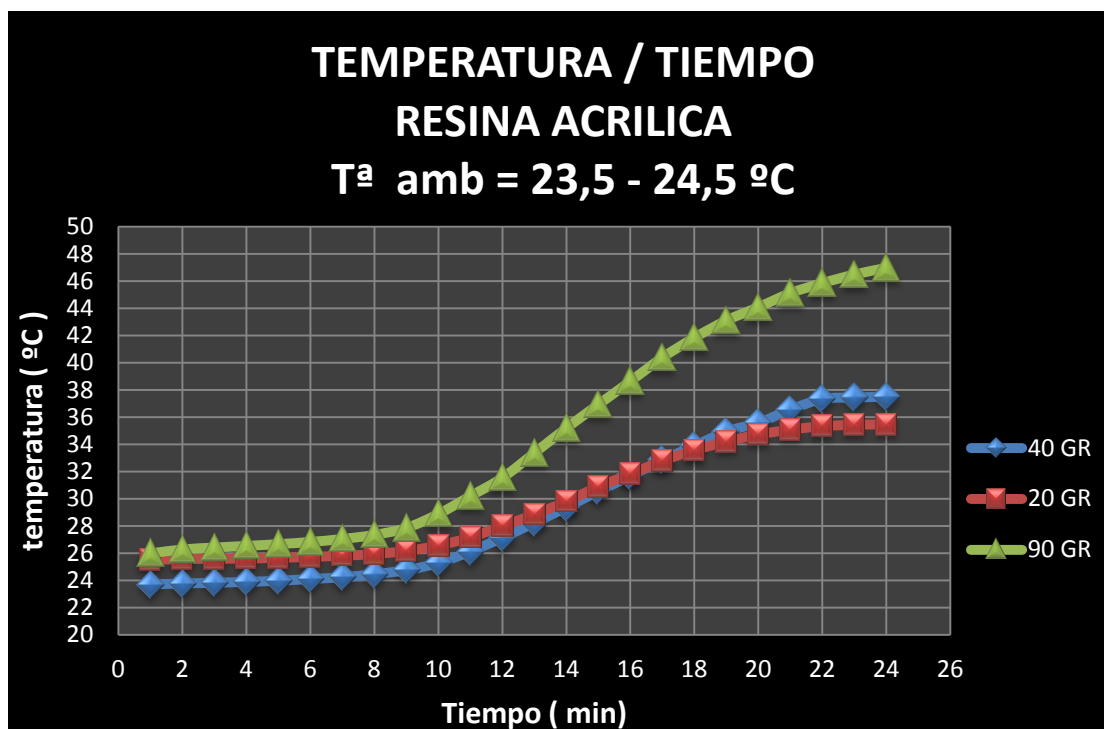


Tabla 25. Acrílicas (masa-temperatura)

En la tabla 25 se vislumbra cómo la cantidad de material no influye prácticamente en la temperatura. El tiempo que tarda la resina en alcanzar la máxima temperatura es similar en los tres casos. La temperatura aumenta si la cantidad de resina es mayor, aproximadamente 10°C entre 20gr y 90gr.

8.3 RESINA DE POLIESTER (MASA / TEMPERATURA)

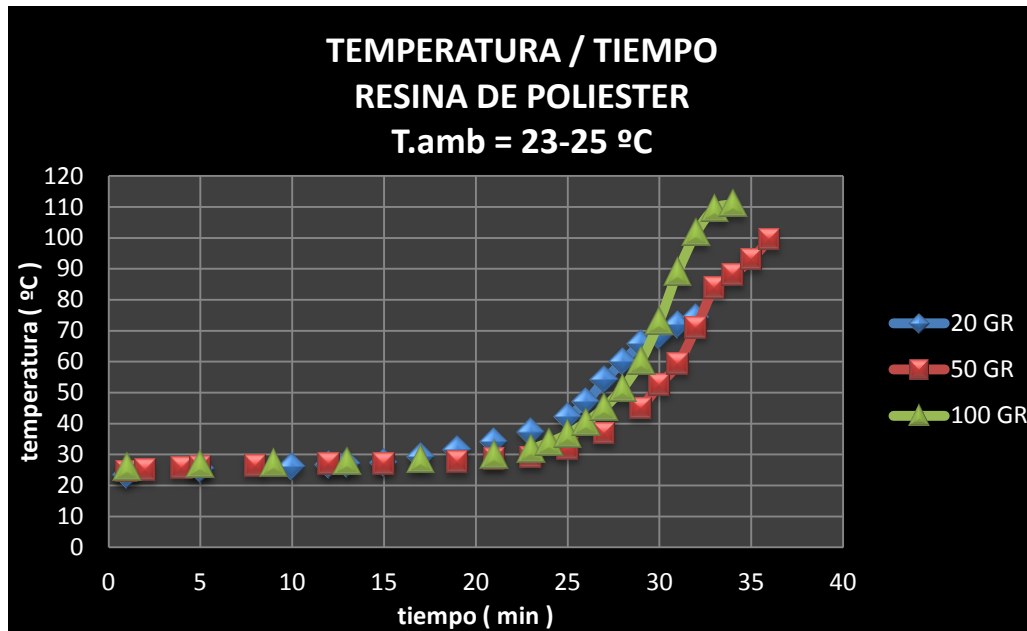


Tabla 26. Poliéster (masa-temperatura)

En la tabla 26 se observa que los tiempos hasta alcanzar el pico exotérmico son independientes a la cantidad de resina, ya que son muy similares en los tres casos. En este caso la variación de temperatura con respecto a la cantidad utilizada es bastante significativa. Con 20gr, la temperatura alcanzada es aproximadamente de 75°C, mientras que con 100gr se alcanzan temperaturas de hasta 110°C. En este caso podemos decir que la masa de la pieza a reproducir influye considerablemente en el pico exotérmico.

8.4 RESINA EPOXI (MASA / TEMPERATURA)

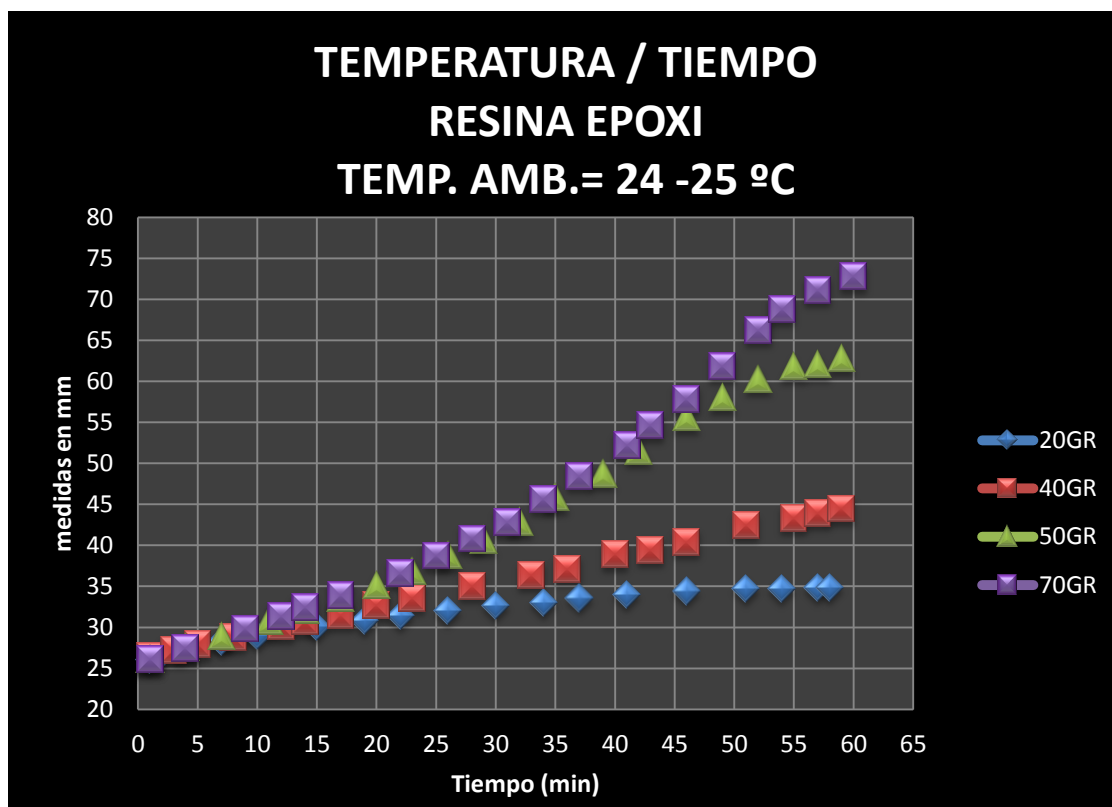


Tabla 27. Epoxi (masa-temperatura)

En la tabla 27 se puede comprobar que mientras las anteriores resinas cumplían la temperatura estimada por los fabricantes, está no las cumple. Según Ferroca, la máxima exoterma con 100 gr de mezcla debería de ser de 40 °C, sin embargo se calienta mucho más.

Además hay que destacar la variación de temperatura que sufre la resina en el proceso de solidificación dependiendo de la masa utilizada, 40°C de una pieza de 20gr a una de 70gr.

Los tiempos hasta alcanzar la máxima temperatura son similares.

9 CÁMARA DE VACÍO

9.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

La idea de construir una cámara de vacío surgió de la necesidad de encontrar una solución a las burbujas que se producen tanto en las coladas de resina como en las de silicona. De esta manera se mejora las características y apariencia de las piezas y moldes.

Después del planteamiento de varias alternativas como la utilización de un compresor de nevera para conseguir el vacío o incluso la compra de un compresor nuevo se decidió aprovechar la toma de aire a presión ya existente en el taller. Para ello, se contempló la idea de construir un tubo de venturi con el que conseguir el vacío.

No obstante, viendo catálogos de sistemas de vacío de diferentes proveedores como Tecyser y tras una serie de consultas con el personal de ventas de dicha empresa se tomó la decisión de comprar un eyector de vacío.

Los eyectores generan vacío gracias al efecto Venturi. El aire comprimido entra por el eyector A y fluye a través del inyector B. Esto resulta en un descenso de presión (vacío) justo detrás de la punta del inyector y el aire es enviado a través de la entrada del vacío D. Este aire y el aire comprimido son expulsados a través del silenciador C.



Ilustración 17.eyector de vacío

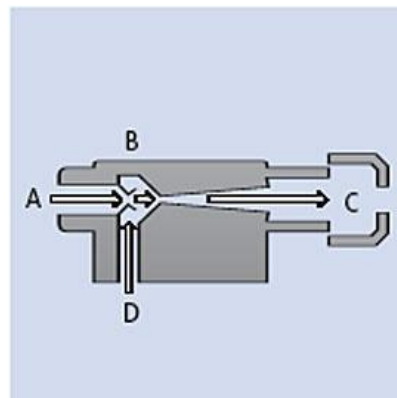


Ilustración 18. Esquema eyector de vacío

Según las características utilizadas en fuentes revisadas acerca de la eliminación de burbujas mediante vacío, se define la presión óptima necesaria para conseguir el vacío (aprox. -90KPa)

9.2 DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL RECIPIENTE

En este apartado se explican los pasos a seguir en el diseño y construcción del recipiente para contener el vacío.

Mediante SolidEdge se diseñan las distintas partes (base, cuerpo, tapa) con la finalidad de tener unos buenos coeficientes de seguridad con respecto al límite elástico del material. Este recipiente está diseñado para que soporte -100KPa.

El material elegido para fabricar la base y el cuerpo ha sido acero. Además no ha sido necesario comprar los perfiles y chapa utilizados ya que estaban disponibles en el taller de construcciones mecánicas (nave 4). Después de varias pruebas para el aprendizaje del modo simulación del programa se empieza a diseñar el recipiente en forma de cilindro. El cilindro tiene una base con 250 mm de diámetro y una altura de 250 mm.

La chapa de 1 mm de espesor resulta idónea para las paredes del cilindro ya que la curvatura aporta mucha rigidez.

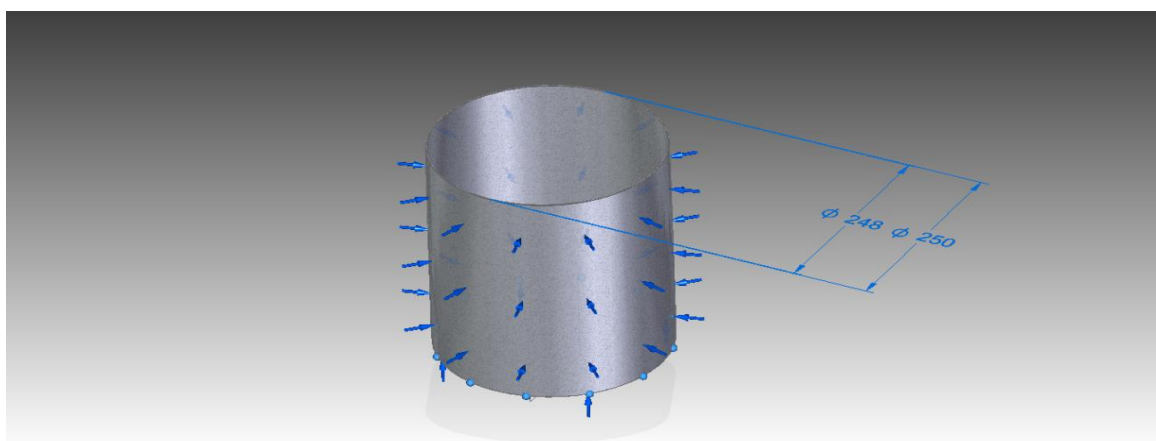


Ilustración 19. Cilindro de 1 mm de espesor en SolidEdge

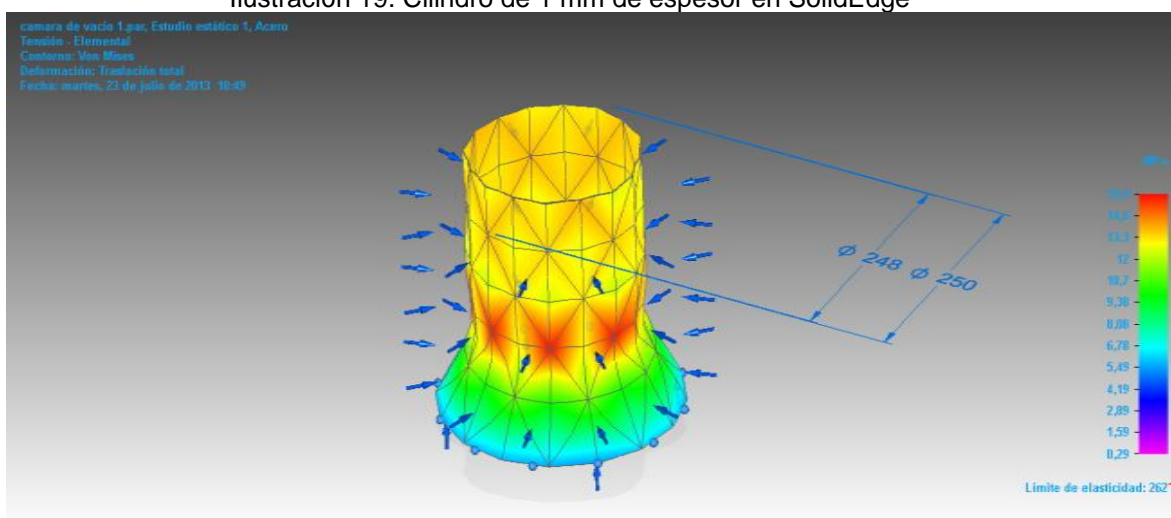


Ilustración 20. Cilindro de 1 mm. Tensiones.

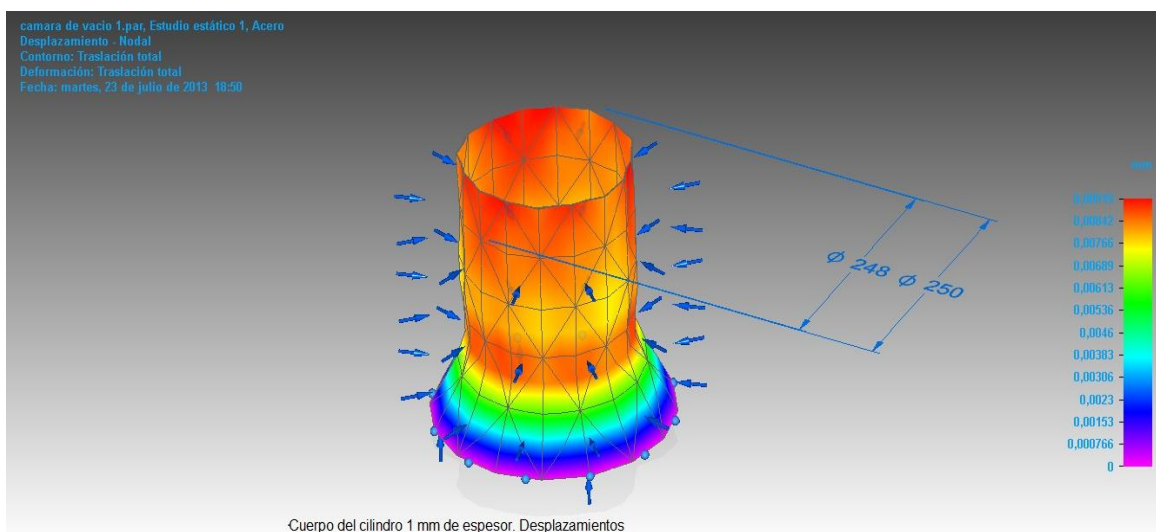


Ilustración 21. Cilindro de 1 mm. Desplazamientos

Sin embargo la base del cilindro supera el límite elástico del material. Esto conlleva a un aumento del espesor de la base para no sobrepasar el límite elástico, lo que aumenta considerablemente la dificultad de fabricación.

Finalmente para construir la base se utilizan perfiles con forma rectangular (30x10x1.5) disponibles en el taller. Tras la representación de dichos perfiles en SolidEdge, se confirma que no sobrepasan el límite elástico. La base consta de 9 perfiles en paralelo.

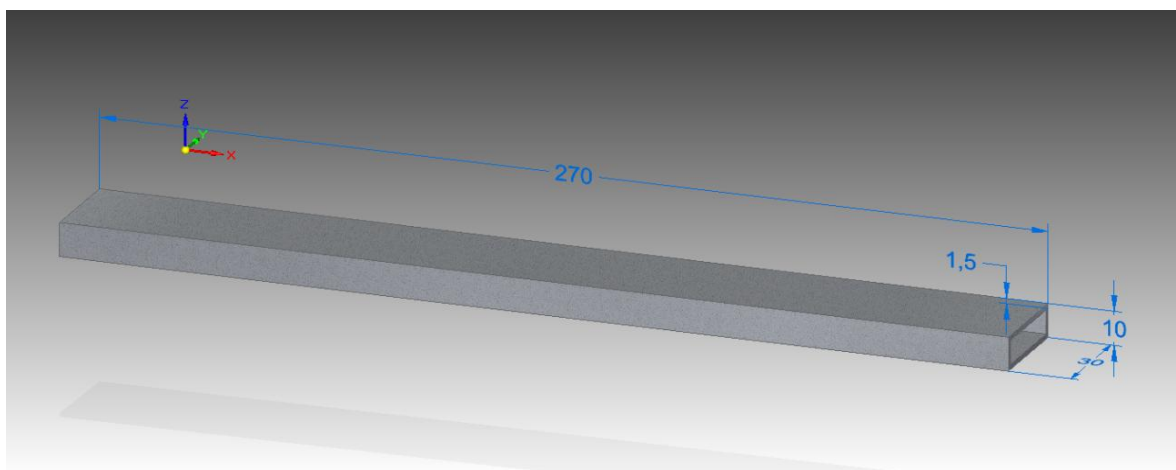


Ilustración 22. Representación perfil base en SolidEdge

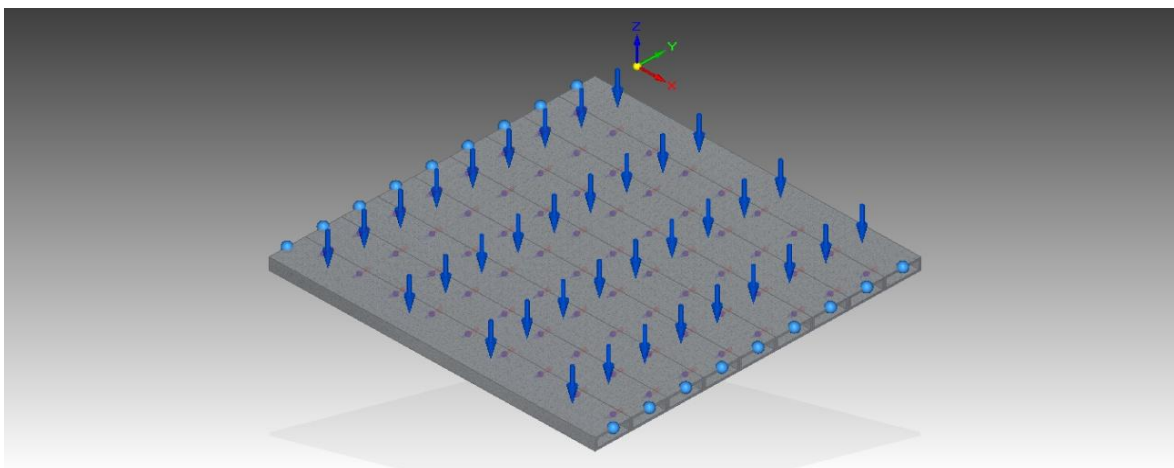


Ilustración 23. Base en SolidEdge

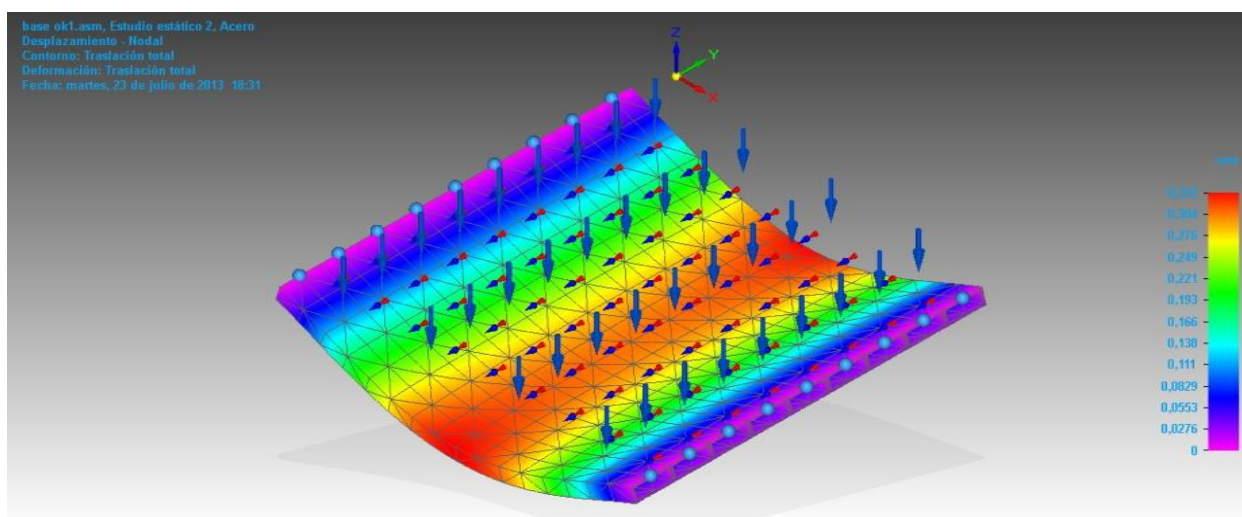
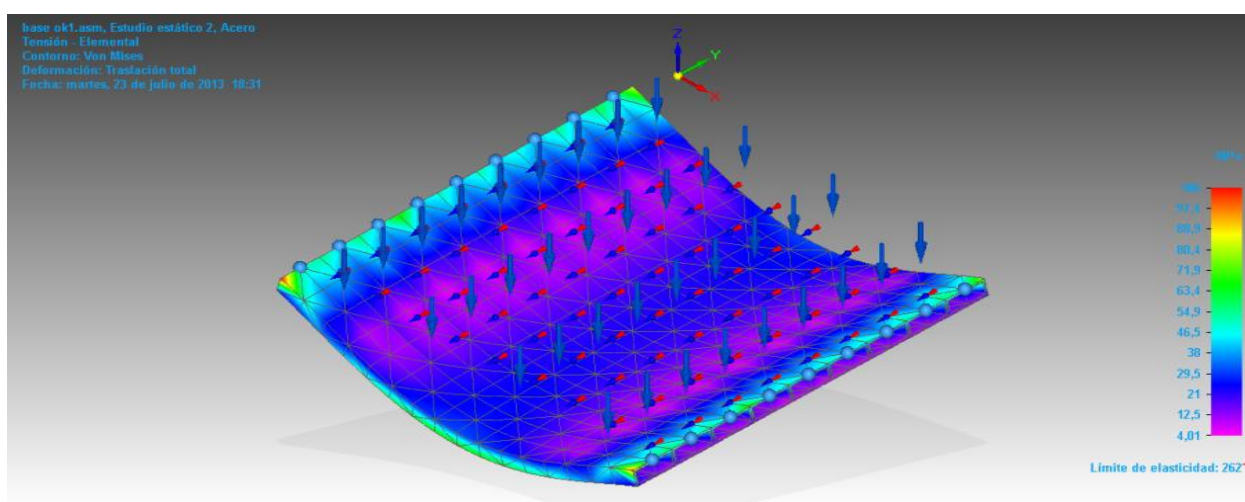


Ilustración 24. Base. Desplazamientos



Ilustraciones 25 Base. Tensión

A parte del diseño definitivo, se hicieron pruebas con otro tipo de geometrías antes de decantarse por el recipiente cilíndrico.

El recipiente en forma cubica con espesor de 1,5mm no soporta la presión y las tensiones ocasionadas superan el límite elástico, además la forma de conformarlo es más compleja.

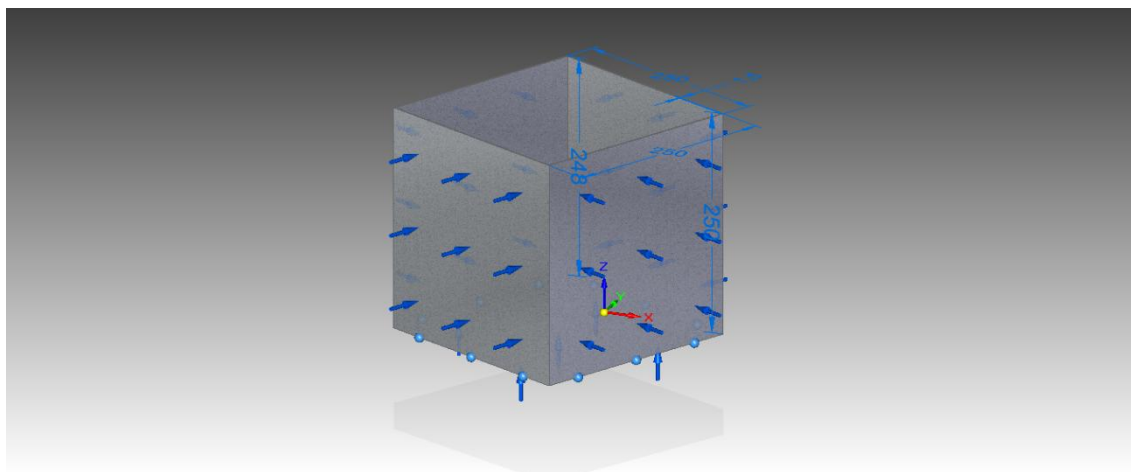


Ilustración 26. Recipiente cuadrado en SolidEdge

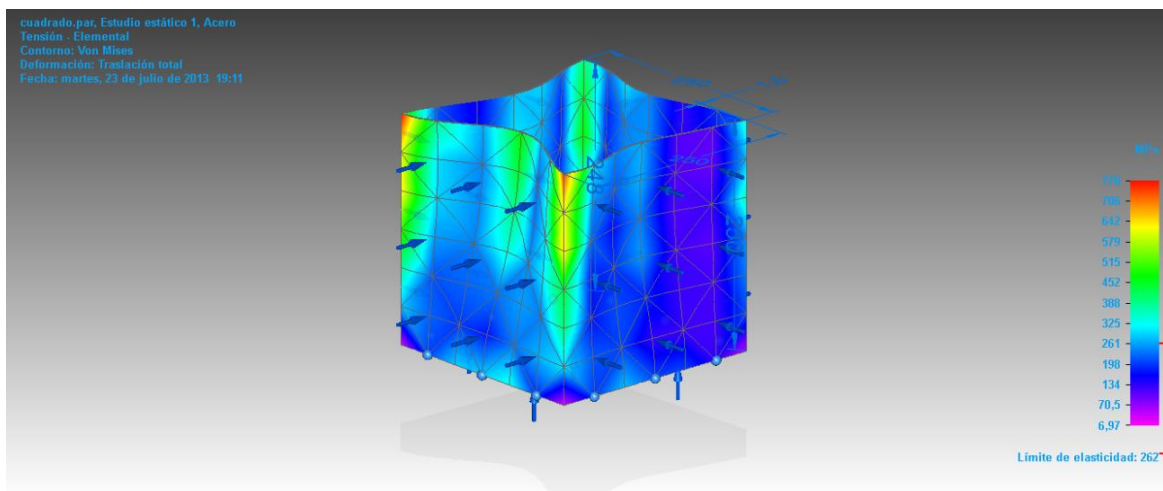


Ilustración 27. Recipiente cuadrado. Tensiones

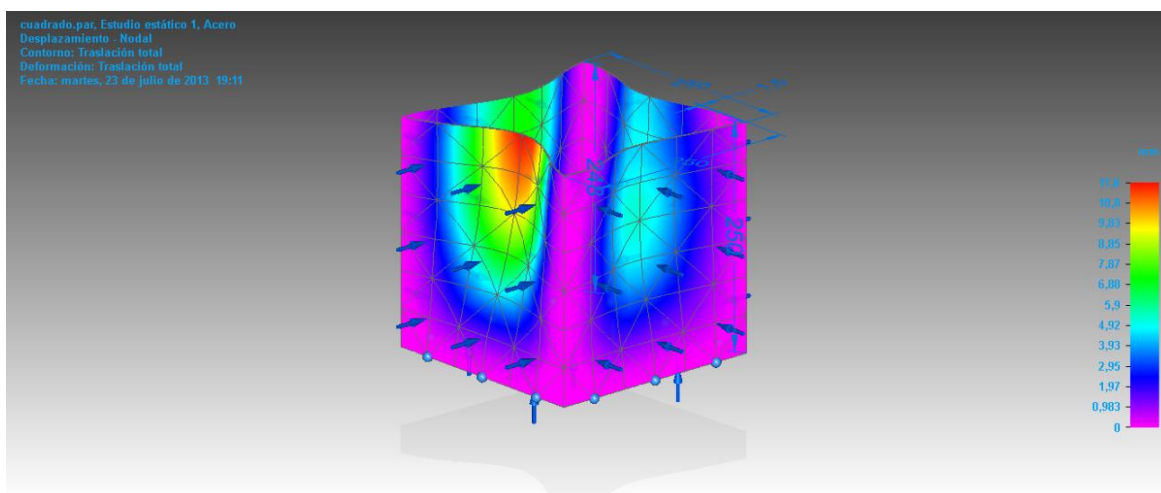


Ilustración 28. Recipiente cuadrado. Desplazamientos

Con el fin de poder observar el proceso de degasificación, se toma la decisión de poner la tapa de metacrilato.

El metacrilato es un material plástico transparente, muy rígido y resistente, que se utiliza como sustituto del vidrio en diversas aplicaciones. Los datos obtenidos tras la simulación en SolidEdge indican que se requiere una placa de 15 mm de espesor aproximadamente. La placa de 10 mm no supera el límite elástico pero tiene un desplazamiento en el medio de la tapa de casi 1 cm.

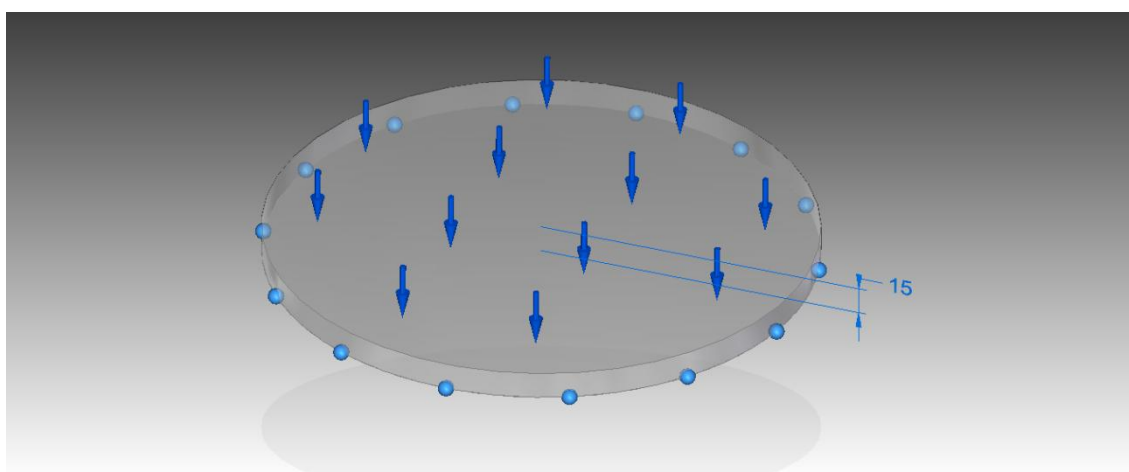


Ilustración 29. Tapa de metacrilato en SolidEdge

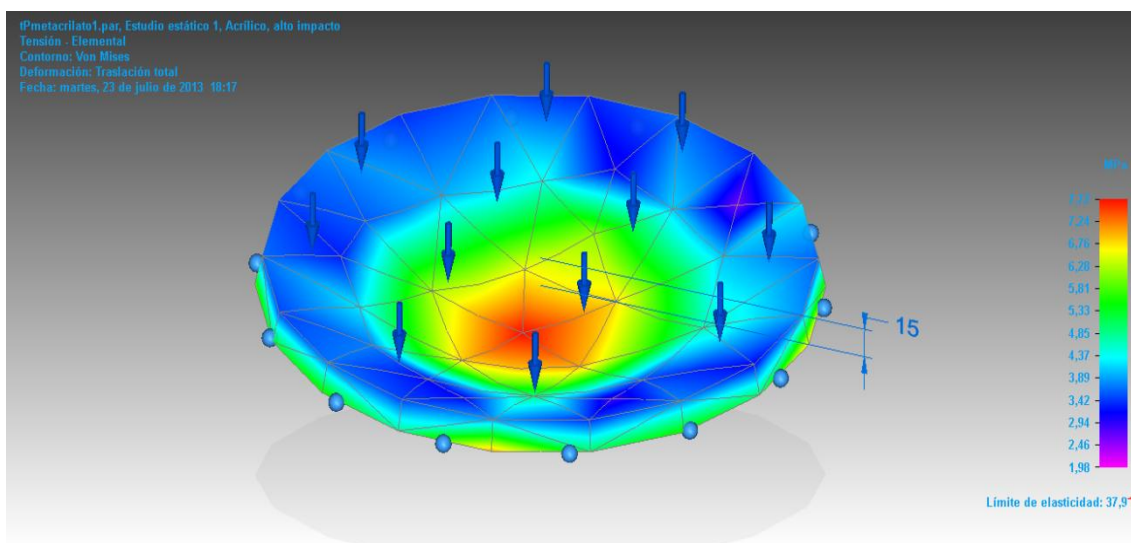


Ilustración 30. Tapa de metacrilato. Tensiones

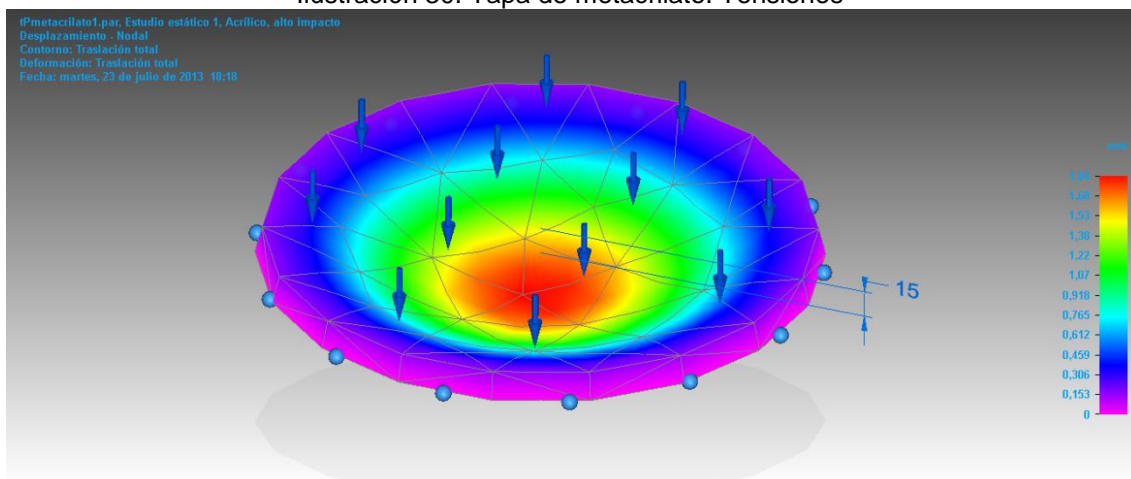


Ilustración 31. Tapa de metacrilato. Desplazamientos

Una vez acabado el proceso de diseño, el recipiente es fabricado en el taller de construcciones mecánicas (nave 4).

Los pasos hasta su completa finalización son:

- Corte de la chapa con las medidas adecuadas (250x250 mm)
- Taladrado del agujero de succión del vacío (12,5 Ø mm)
- Doblado de la chapa (cuerpo del cilindro).
- Corte de los 9 perfiles de la base (30x10 x1,5 – 270 mm)
- Soldadura de la base y la chapa mediante TIG (Estanqueidad perfecta)
- Lijado de los bordes
- Pintado de la superficie para mejorar apariencia y protección superficial.

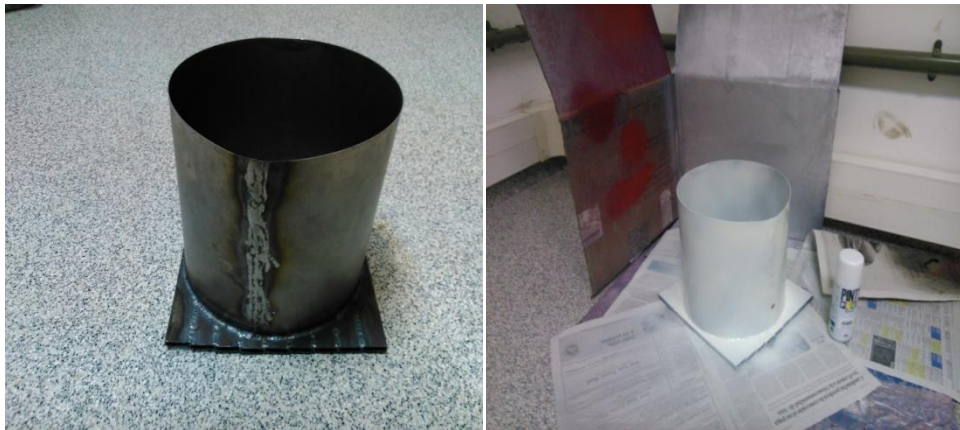
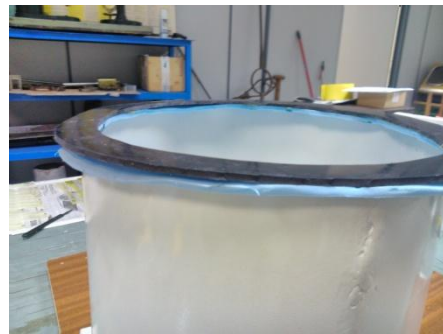


Ilustración 32. Recipiente de la cámara de vacío

El siguiente paso es buscar una solución para la línea de contacto entre el recipiente y la tapa, ya que se precisa un material que nos proporcione un cierre hermético en el momento de generar el vacío. Con dos plásticos de diferente rigidez se consigue adaptar la junta a ambas partes.

Ilustración 33. Cierre hermético



9.3 SELECCIÓN Y MONTAJE DEL CIRCUITO NEUMÁTICO

Una vez construido el recipiente y decidido el método para conseguir el vacío, es necesario elegir los elementos neumáticos para completar el circuito.

ESQUEMA DEL CIRCUITO NEUMÁTICO

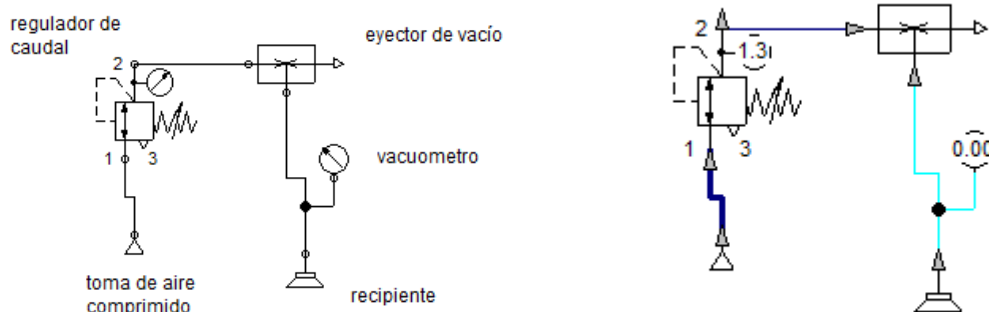


Ilustración 34. Esquema del circuito neumático

Para el montaje de dicho circuito fue necesario comprar todos los componentes a excepción del regulador de caudal. Este elemento ya se disponía en la UZ.



Ilustración 35. Regulador de caudal

En la siguiente lista aparecen los elementos del circuito junto a las referencias que tienen en sus respectivos catálogos.

- Eyector de vacío (EVK2B)
- Vacuómetro (INDRB 40)
- Unión desigual Ø6-10 (3106 06 10)
- Rosca de entrada macho (3175 06 13)
- Te orientable (3198 06 10)
- Unión pasa-tabiques Ø6 (3116 06 00)
- Tubo poliuretano azul Ø6-4 (25m.) ref:1025U06 04

Los enlaces a los catálogos correspondientes quedan reflejados en la bibliografía del proyecto.

Es necesario incorporar una arandela de silicona fabricada por nosotros mismos en la unión pasa-tabiques para eliminar las fugas de aire que se producen debido a la rigidez y curvatura del cilindro.



Ilustración 36. Unión pasa-tabiques con arandela de silicona



Ilustración 37. Cámara de vacío

9.4 Funcionamiento cámara de vacío (desgasificación)

Una vez montado el circuito, se ajusta la presión de aire comprimido a 6 bares tomando como referencia las gráficas de comportamiento del eyector. Se comprueba que alcanza el nivel de vacío máximo (-92 KPa) y ya está lista para empezar a hacer pruebas con la silicona y las resinas.

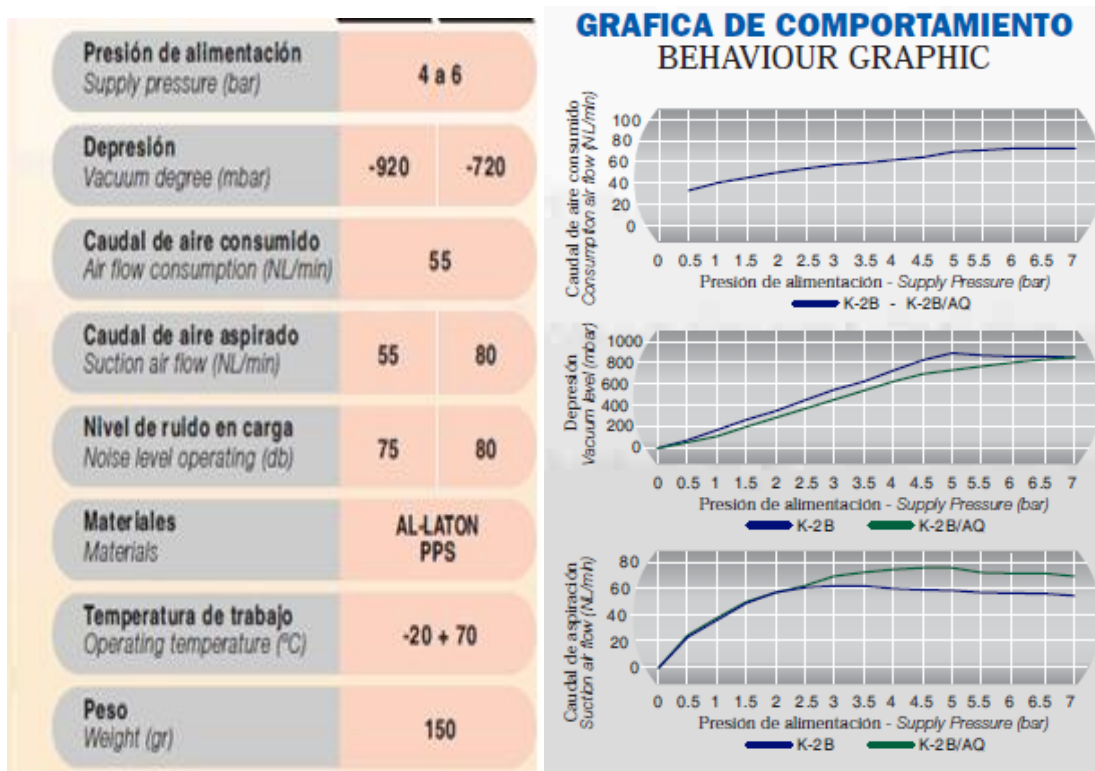


Tabla 28. Características eyector

En la siguiente tabla se reflejan las características de importancia y los resultados obtenidos.

	SILICONA	EPOXI	ACRILICAS	POLIESTER
Tiempo de trabajo (min) 20-25°C	90 - 120	90	8 - 10	10
Presión optima para desgasificación (KPa)	- 90	- 90	- 90	- 90
Caudal de aspiración requerido (l/min)	60 (máximo que nos produce el eyector)	60 (máximo que nos produce el eyector)	1000 (según fabricante)	*
Tiempo de desgasificación (min)	8 - 9	6 - 7	15 s para 10kg de mezcla (según fabricante)	*
Aumento de volumen durante desgasificación	3-5 veces su volumen	No varía el volumen	5 veces su volumen (con el caudal de aspiración apropiado)	*

Resultado con eyector EVK2B Qasp. = 60 l/min	Mezcla sin burbujas	Mezcla sin burbujas	Aumento momentáneo del volumen de la mezcla pero no expulsa las burbujas de la resina	Aumenta el tamaño de las burbujas y no las expulsa de la resina
---	------------------------	------------------------	---	---

* (No se ha encontrado información)

Tabla 29. Resumen desgasificación de resinas y silicona

En un principio se pensó que el resultado de la desgasificación de las resinas dependía exclusivamente del nivel de depresión conseguido y con este pensamiento se fabricó la cámara de vacío.

La idea de tener más o menos caudal de aspiración esperábamos solucionarla manteniendo la resina más o menos tiempo bajo los efectos del vacío. Sin embargo el caudal de aspiración es un factor fundamental en la desgasificación de las resinas, ya que si no es suficiente las burbujas quedan atrapadas en la resina.

El caudal de aspiración máximo que nos aporta el eyector es suficiente para la desgasificación de la resina epoxi, al cabo de 6 o 7 minutos la resina queda totalmente transparente sin ninguna burbuja de aire.



Ilustración 38. Comparación probeta epoxi desgasificada con otra sin desgasificar

Por el contrario, el caudal que nos aporta el eyector no es suficiente para eliminar las burbujas de la resina acrílica ni de la resina de poliéster. En vez de eliminar las burbujas, hace que las existentes en la resina aumenten de tamaño.



Ilustración 39. Comparación poliéster desgaseado y sin desgasear

Una posible hipótesis a este fenómeno es que al disminuir la presión, el aire de las burbujas se expande. Al no poder ser expulsadas, estas quedan atrapadas en el interior de la resina.

Un factor influyente puede ser el tiempo de gel ya que es mucho más corto en estas dos resinas que en la epoxi y la silicona.

En cuanto a la silicona, todas las burbujas desaparecen y los moldes obtenidos no contienen ningún defecto, lo que conlleva a unas reproducciones de muy alta calidad.

Es muy importante tener en cuenta que durante la degasificación de la silicona, el volumen de esta se incrementa hasta 3 - 5 veces, por lo que el recipiente que la contiene debe ser lo suficientemente grande para que no se desborde.



Ilustración 40. Degasificación de la silicona.

Acabado el análisis de todos los materiales en la cámara y tras comprobar que los resultados no son los esperados en todos los casos, se ha consultado el precio de un eyector que proporcione la misma depresión y un caudal de aspiración más elevado.

Por norma general estos aparatos cuanto más caudal de aspiración tienen, menos depresión consiguen. Por tener una referencia del precio de un eyector que alcance la depresión de -90 KPa y un caudal de aspiración de 380 L / min (caudal insuficiente según fabricante) cuesta en torno a los 180 €.

Para conseguir el caudal aspirado de 1000 L / min y la depresión en torno a los -90 KPa se podría haber utilizado una central de vacío cuyo precio ronda los 1000 €.

10 CONCLUSIONES Y DESARROLLO FUTURO

En el siguiente apartado se van a exponer las conclusiones obtenidas a través de la realización de las diferentes partes de este proyecto.

También se incluye el desarrollo futuro para seguir analizando y mejorando los métodos para conseguir la perfecta reproducción de piezas y prototipos en moldes de silicona y en moldes hechos con la impresora 3D.

10.1 Conclusiones

Respecto a la construcción de los moldes:

- 1) Para controlar todas las dimensiones de una pieza es necesaria la utilización de un molde de dos caras. En los moldes de una cara no podemos controlar la dimensión en la cara abierta.
- 2) En la fabricación de moldes de dos caras. Si se necesita cumplir con unas tolerancias similares a las estudiadas en este proyecto es necesario dejar unos márgenes en torno al modelo cuanto más extensos mejor para disminuir la influencia del apriete. El mayor gasto en silicona es compensable en los resultados obtenidos.

Respecto a la fabricación de piezas de resina en los moldes de silicona RTV:

- 1) La capacidad de reproducción de la silicona RTV ofrece un altísimo grado de detalle.
- 2) Las resinas acrílicas y la resina epoxi cumplen las tolerancias establecidas por la Norma UNE EN-ISO 3127:2002. Plásticos. Probetas para usos múltiples.
- 3) La contracción de la resina de poliéster supone un inconveniente a la hora de cumplir las tolerancias establecidas por la Norma UNE EN-ISO 3127:2002. Plásticos. Probetas para usos múltiples. Es necesario tener en cuenta dicha contracción a la hora de fabricar el molde.
- 4) La distribución de la fuerza de apriete en moldes de dos caras favorece la uniformidad de la pieza modelada.
- 5) La vida útil de los moldes de silicona RTV permite hacer numerosas piezas sin deteriorarse (comprobado hasta 20 reproducciones).

Respecto a la temperatura alcanzada por las resinas en el proceso de curado:

- 1) La silicona RTV resiste la temperatura que alcanzan los diferentes tipos de resinas estudiados.
- 2) El pico exotérmico de la resina epoxi es mucho mayor que el estimado por los fabricantes.
- 3) La diferencia de temperatura según el peso de la pieza a modelar en las resinas acrílicas es mínima. En cambio, en las resinas de poliéster y en las resinas epoxi la diferencia es mayor. Cuanto mayor es el peso, más elevado es el pico exotérmico.

Respecto a la fabricación de piezas de resina en los moldes fabricados por prototipado rápido:

- 1) La utilización de moldes rígidos de una sola pieza con un ángulo de desmoldeo de $1,5^\circ$ y la aplicación de alcohol polivinílico como desmoldeante no es suficiente para expulsar las piezas satisfactoriamente. El método mejora utilizando moldes formados por varias partes y utilizando expulsores.

Respecto a la desgasificación de la silicona y de las resinas estudiadas:

- 1) Los factores a tener en cuenta en el proceso de desgasificación de resinas son: la depresión y el caudal de aspiración.
- 2) Con el eyector de vacío utilizado en este proyecto solo se consigue eliminar las burbujas en la silicona y en la resina epoxi ya que no aporta el caudal de aspiración suficiente para las otras resinas.
- 3) La desgasificación de la resina acrílica según mi valoración es factible únicamente a nivel industrial ya que para conseguir el caudal de aspiración estimado por los fabricantes (1000 l/min) es necesaria una inversión económica importante.

10.2 Desarrollo futuro

- Analizar los métodos para fabricar moldes de silicona para piezas grandes. Moldes de recubrimiento con silicona vertida y Moldes de recubrimiento con silicona aplicada con brocha.
- Desarrollar el método para construir moldes de resina con la impresora 3D. Probar a fabricar los moldes similares a los moldes de inyección (con diferentes partes y eyectores incluidos).
- Analizar el comportamiento de los moldes de resina frente a la temperatura.
- Utilización de diferentes tipos de resina como el poliuretano para realizar las coladas.
- Analizar la contracción de la resina de poliéster para compensar dicha contracción en las dimensiones del molde.
- Valorar la desgasificación de las resinas acrílicas e investigar en lo referente a desgasificación de las resinas epoxi.

11 PRESUPUESTO

descripción	cantidad	unidad	proveedor	precio (€)
EPOFER EX-401 E-01	1	Kgr.	FEROCA	16,30
EPOFER E-432 E-0,320	1	Env.	FEROCA	5,90
FERPOL 3501 CV2,5 E-01	1	Kgr.	FEROCA	6,50
ACELERADOR CH-8 E-0,020	1	Env.	FEROCA	2,30
CATALIZADOR F-11 E-0,025	1	Env.	FEROCA	2,20
SILASTIC 3481 E-01	2	Kgr.	FEROCA	48,00
CATALIZADOR S-81 E-0,050	2	Env.	FEROCA	3,60
FEROSIL V 32 E-0,100	2	Env.	FEROCA	4,40
PLASTILINA INDUSTRIAL 350GR.	2	Unid.	FEROCA	5,00
ACRYSTAL BASIC E-05	5	Kgrs.	FEROCA	40,00
ACRYSTAL PRIMA E-02	2	Kgrs.	FEROCA	16,00
PORTES POBLACIONES	1		FEROCA	15,00
PRECIO SIN IVA				165,20
PRECIO + 21% IVA				199,89

ALCOHOL POLIVINILICO	1	Env.	GILCA	2,50
RESINA DE POLIESTER PREACELERADA	1	kgr.	GILCA	6,50
CATALIZADOR MEKP	1	Env.	GILCA	0,80
SILICONA BLANCA + CATALIZADOR	1	kgr.	GILCA	32,60
PRECIO CON IVA INCLUIDO				42,40

EYECTOR DE VACIO (EVK2B)	1	Unid.	TECYSER	38,73
VACUOMETRO (INDRB 40)	1	Unid.	TECYSER	10,61
UNION DESIGUAL Ø6-10 (3106 06 10)	1	Unid.	TECYSER	4,16
ROSCA DE ENTRADA MACHO (3175 06 13)	1	Unid.	TECYSER	1,84
TE ORIENTABLE (3198 06 10)	1	Unid.	TECYSER	4,07
UNION PASATABIQUES Ø6 (3116 06 00)	1	Unid.	TECYSER	3,43
TUBO DE PUR Ø6-4 (25m.) ref:1025U06 04	1	Unid.	TECYSER	17,52
SPRAY DE PINTURA (BLANCO)	1	Env.	GILCA	2,5
PLACA DE METACRILATO(250x250x15)	1	Unid.	METACRILATOS MALPICA	35,00
CHAPA DE ACERO	0,2	m²	HIERROS ALFONSO	5,00
PERFILES DE ACERO (30x10x1,5) x 270	9	Unid.	HIERROS ALFONSO	5,00
MANO DE OBRA	2	Hora.	OPERARIO	60,00
PRECIO CON IVA INCLUIDO				187,86

PRECIO TOTAL	430,15
--------------	--------

12 BIBLIOGRAFIA

Fuentes virtuales

- <http://www.legris.com>
- <http://www.tecyser.es/>
- <http://www.ar-vacuum.com/>
- <http://tienda.resineco.com>
- <http://www.resinascastro.com>
- <http://www.metacrilatosmalpica.es/>
- <http://www.feroca.com/es/>
- <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2011/05/polimetacrilato-de-metilo.html>
- <http://www.youtube.com/watch?v=XMdicfz5Ouk>
- <http://www.youtube.com/watch?v=9sN0KT-tRsY>
- <http://spanish.alibaba.com/products/venturi-vacuum.html>
- <http://ellaboratorioloco.wordpress.com/2006/02/22/taller-construccion-de-un-compresor-vacio-i/>
- <http://es.scribd.com/doc/98261398/Exposicion-Silicona-y-Sus- Caracteristicas>
- <http://www.quiminet.com>
- <http://www.sellsilicone.es>
- <http://www.ehowenespanol.com>
- <http://www.ahlborn.com/getfile.php?1883.pdf>
- <http://www.wikipedia.org/>
- www.resinapoliester.es
- <http://www.ahlborn.com/getfile.php?1883.pdf>

Fuentes escritas

- Ingeniería de materiales para industria y construcción. Jesús Martín San José; María Antonieta Madre Sediles; José Manuel Franco Gimeno. Mira Editores.
- Industria del plástico. Plástico Industrial. Richardson & Lokensgard. Paraninfo.
- Plastics. Materials and Processing. A.Brent Strong
- Apuntes de asignaturas cursadas: tecnología mecánica, ciencia de materiales y neumática

13ANEXOS

13.1 ANEXO 1. PROVEEDORES

- **FEROCA**

c/ calle del Españolito / Madrid

Teléfono: + 34 914481271 / Fax: +34 915934956

E-mail: info@feroca.com / maribel.garcia@feroca.com

- **TECYSER**

Ronda de la Feria de Muestras, nº 20 / Zaragoza

Código postal: 50197

Teléfono: +34 976 730777 / Fax:+34 976 731473

E-mail: tecyser@tecyser.es / d.domenech@tecyser.es

- **GILCA**

Paseo las Damas nº 27 / Zaragoza

Código postal: 50008

Teléfono de atención al cliente: 976 457648

E-mail: gilca@gilca.es

- **METACRILATOS MALPICA**

Pol.Malpica. C/ Parque Empresarial Inbisa-Malpica 2 Nave 11 / Zaragoza

Teléfono: 976 588400

E-mail: mfuertes@metacrilatosmalpica.es